

جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

البحث عن تقنية جديدة لتنظيف الرمال في سوريا وتحسين أدائها في البيتون

Searching of a New Technology For Cleaning Sand In Syria And The Improvement of its Performance in Concrete

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية

إعداد المهندسة

دية أمين ابراهيم

إشراف

الدكتور المهندس
علي خيربك

الدكتور المهندس
عادل ديب

Tishreen University
Faculty of civil engineering
Transportation department

Searching of a New Technology For Cleaning Sand In Syria And The Improvement of its Performance in Concrete

Prepared by
Eng. Dima Amin Ibrahim

Supervisors

Dr.Eng. Ali KHair bek

Dr.Eng. Adel deeb

قدمت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في هندسة المواصلات والنقل
في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين

This thesis has been submitted for the fulfillment of the requirements of the Degree of Master of Sciences in Transportation Engineering at the Faculty of Civil Engineering. Tishreen University

أعضاء لجنة التحكيم:

الأستاذ الدكتور: بسام حنا	جامعة البعث	رئيساً
الدكتور : بسام سلطان	جامعة تشرين	عضواً
الدكتور: علي خير بك	جامعة تشرين	عضواً ومشرفاً

نوقشت هذه الرسالة بتاريخ 2009/5/4 وأجيزت.

شهادة:

نشهد بأن العمل المقدم في هذه الرسالة هو نتيجة بحث علمي قامت به الطالبة ديمة ابراهيم بإشراف الدكتورعلي خير بك المدرس في قسم هندسة و إدارة التشييد في كلية الهندسة المدنية والدكتور عادل ديب الأستاذ المساعد في قسم هندسة النقل والمواصلات في كلية الهندسة المدنية مشاركاً في الإشراف. ولم يسبق لهذا البحث أن قدم للحصول على أي شهادة أخرى.

وأي مراجع أخرى موثقة في النص.

الطالبة	المشرف المشارك	المشرف
ديمة ابراهيم	د.م. عادل ديب	د.م. علي خيربك

مقدمة:

يعرف البيتون بأنه خليط غير متجانس من الحصويات، و الإسمنت والماء، و الهواء، كما يمكن إضافة بعض المواد الأخرى (الإضافات) لتعديل بعض الخواص الفيزيائية أو الميكانيكية.

يتم اختيار نسب هذه المواد في الخلطة البيتونية حسب نوع العمل المطلوب والمواد المتوافرة. ومع خلط هذه المواد مع بعضها يتم الحصول على البيتون الذي يبدأ بالتصلب التدريجي مع الوقت ليكتسب مقاومة ميكانيكية ، وتتفاوت درجتها تبعاً للمكونات الأساسية، وكذلك تبعاً لطريقة الرج أثناء الصب ونوعية المعالجة.

بينت البحوث السابقة في مجال البيتون أن نفاذية البيتون هي المقياس البارز المتحكم في ديمومته؛ لأن آليات معظم العوامل المسببة للتدهور تعتمد بالضرورة على نفاذية البيتون.

إن البيتون في طبيعته الأساسية مادة مسامية كما أن نفاذية البيتون ليست دالة على كمية الفراغات، ولكن تعتمد على مقاس، وشكل، وتوزيع، واتصال المسامات. وإذا أهملنا حجم المسامات في الحصويات فإن البيتون الجيد لديه حجم مسامات كلي يقدر بـ (20% إلى 25%) في بداية الإماهة وبمقدار (10-15)% بعد إماهتها لذلك فإن للبيتون دوماً شبكة مسامية (قنوات) لحركة الماء، والذي يتحرك فقط من

خلال جزء محدود ومتصل من هذه الشبكة؛ ولذلك فإن النفاذية ليس لها دلالة واضحة على وجود المسامات بل هي انعكاس لفرصة حدوث شبكة ذات مسامات متصلة. وبناءً على قياس النفاذية بطريقة دخول الزئبق، لوحظ أن نفاذية عجينة الإسمنت الصلبة مهملة (بغض النظر عن مساميتها) إلا في حالة حدوث شبكة من الفراغات المجهرية أوسع من قطر نسبي يبلغ (100) نانومتر داخل البيتون، لذا يجب لفت الانتباه لهذه العوامل لمعرفة الطبيعة المعقدة لنفاذية البيتون حتى نتمكن من الحصول على بيتون ذي ديمومة عالية تستطيع مقاومة الأوساط المخربة.

من هنا نرى ضرورة دراسة العوامل المؤثرة في هذه الشبكة المسامية من ناحية اتصالها وكثافتها وأبعادها، وما لذلك من آثار مستقبلية على ديمومة البيتون والعمر المجدي للمنشآت.

ويعتبر الرمل أحد أهم العوامل المؤثرة على خواص البيتون من حيث الديمومة والمقاومة كونه يشغل نسبة كبيرة من حجم المواد الداخلة في تركيب البيتون لذلك كان لابد من دراسة تأثير الرمال على نوعية البيتون وديمومته.

يتطرق البحث لدراسة الرمال وخواصها وتأثير الشوائب فيها على جودة البيتون المنتج منها.

كما يتطرق إلى البحث عن تقنية جديدة يمكن معها تخفيض نسبة الشوائب ورفع كفاءة الرمال لتحسين مواصفات وجودة البيتون المصنوع منها.

يقع البحث في أربعة فصول تضمن كل منها ما يأتي:

الفصل الأول:تم تخصيصه لعرض البحث المرجعي الذي قمنا به على الحصويات من حيث مصادرها وخصائصها وتصنيفها واختبارات الجودة ومعايير التقييم التي تطبق لقبولها أو رفضها.

كما بحث الفصل في الرمال والتقنيات المستخدمة في العالم من أجل تنظيفها لتحسين أدائها في البيتون.

وفي **الفصل الثاني**: عرضنا البرنامج التجريبي الذي تم تنفيذه في البحث والذي يمكن تقسيمه إلى جزأين رئيسين :

يبحث الأول بدراسة تأثير نسبة الشوائب في الرمل في مقاومة وديمومة المونة الإسمنتية

ويختص الثاني بعرض التقنية المقترحة لفصل الشوائب عن الرمل مخبرياً مع عرض نتائج تطبيق العمل مخبرياً.

وفي **الفصل الثالث**: قمنا بعرض النتائج وتحليلها بيانياً مع تقديم تفسير مفصل لها في جميع الحالات.

كما تم اقتراح بعض النماذج الرياضية التي تربط بين مواصفات الرمال المستخدمة من حيث النظافة ونسبة الشوائب والمكافئ الرملي ومقاومة وديمومة المونة الناتجة.

أما الفصل الرابع: فقد خصص لتقديم بعض الاستنتاجات الهامة الخاصة بالبحث مع اقتراح بعض التوصيات التي رأيناها مناسبة لتوسيع نطاق البحث وفتح آفاق أخرى له قد يكون لها تطبيقات عملية واسعة الانتشار.

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

الفصل الأول

الدراسة المرجعية

1- تعريف الحصويات:

وهي مواد حبيبية ناتجة عن التفتت الطبيعي للصخور، كذلك يمكن أن تنتج من تكسير أو طحن الصخور أو قد تكون من مخلفات صناعة المعادن والأفران وغيرها، وتصنف من حيث أبعاد الحبيبات إلى:

1-الحصويات الخشنة (البحص): وهي حصويات تحتوي على حبيبات يحجز معظمها على المنخل ذي الفتحة(4.75mm).

2- الحصويات الناعمة (الرمل): وهي الحصويات المارة من المنخل ذي (الفتحة 4.75mm) و يحجز معظمها على المنخل ذي الفتحة (10µm).{5}

2- الصفات العامة للحصويات المستخدمة في البيتون:

إن لنوعية و خواص الحصويات تأثيراً كبيراً في خواص البيتون ونوعيته لكونها تشغل حوالي (70-75%) من الحجم الكلي لكتلة البيتون. وتتكون الحصويات بصورة عامة من حبيبات صخرية متدرجة في الحجم منها حبيبات صغيرة كالرمل والأخرى حبيبات كبيرة كالحصى.

وفضلاً عن كون الحصويات تشكل الجزء الأكبر من هيكل البيتون والتي تعطي كتلة البيتون ثباتها، ومقاومتها الميكانيكية، ومقاومتها للعوامل الجوية المختلفة كالحرارة والرطوبة والصقيع فهي تحد من التغيرات الحجمية الناتجة عن تجمد وتصلب عجينة الإسمنت أو عن تعرض البيتون للرطوبة والجفاف وهو ما يسمى الذاتي وتقلص التجفاف.

ولذا فإن الحصويات تعطي البيتون متانة أفضل مما لو استعملت عجينة الإسمنت منفردة.

مما سبق ذكره يتضح أن خواص الحصويات تؤثر بدرجة كبيرة في مقاومة وسلوك البيتون.

يخضع اختيار الحصويات في البيتون إلى متطلبات ثلاث هي:

1- متطلب اقتصادي: يتعلق بالكلفة الإجمالية للبيتون وتأثير نوعية وكلفة الحصويات على سعر المتر المكعب من البيتون المصنوع منها.
2- المقاومة الناتجة.
3- ديمومة البيتون المصنوع من هذه الحصويات والعمر المجدي للمنشأة المبنية منها.
4- ومن الخواص المهمة الأخرى لحصويات البيتون التدرج الحبي.

للحصول على بيتون مكتنز بديمومة جيدة ينبغي أن يكون التدرج الحبي للحصويات المستخدمة في البيتون مستمراً ومناسباً يأخذ بالحسبان طرق التصميم المختلفة للخلطات البيتونية والتي تحدد نسبة الحصويات الناعمة والخشنة فيه، كذلك يلعب التدرج الحبي للحصويات في الخلطة البيتونية دوراً مهماً في قوام وقابلية تشغيل البيتون في الحالة الطرية.

وللحصول على بيتون جيد ومقاوم ينبغي أن تكون الحصويات مقاومة بدورها من الناحية الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية، إذ يجب أن تبدي مقاومة جيدة للعوامل الجوية المختلفة كالحرارة والبرودة والصقيع والتي تؤدي إلى تقشر وتفتت الحصويات.

كما يجب أن تبدي الحصويات مقاومة أخرى للعوامل المخربة كالأوساط الحامضية أو القلوية أو الكبريتية أو الأوساط الحاوية على الكلوريدات.

ومن الخصائص المهمة التي يجب أن تتميز بها الحصويات إبداء مقاومة عالية للتفاعل القلوي الناتج عن تأثير الوسط القلوي للعجينة الإسمنتية في الوسط الكلسي للحصويات.

كما يجب أن تكون خالية من الشوائب العضوية والطين وغيرها والتي تلعب دوراً سلبياً في الربط بين العجينة الإسمنتية والحصويات وهو ما سيعكس ضعفاً واضحاً في مقاومة البيتون الناتج. {8}

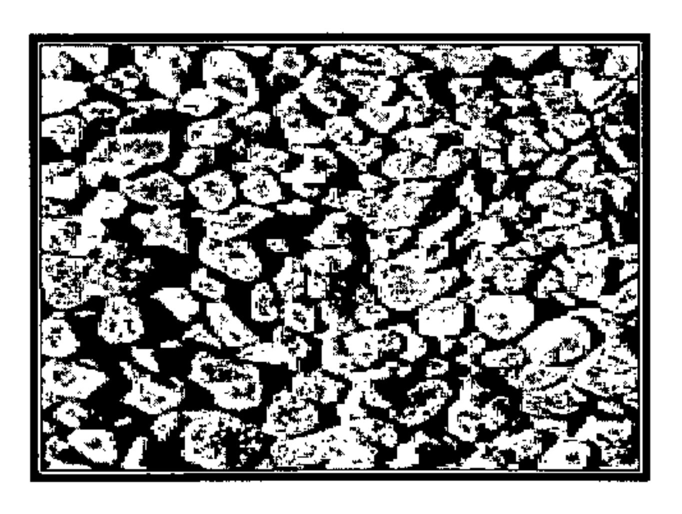
1.2-الاشتراطات الخاصة بحصويات البيتون:

تتكون الخلطة الحصوية من حصويات خشنة وأخرى ناعمة ذات مصدر طبيعي كالصحراء أو مجاري الأنهار أو ناتجة من كسارات المقالع التي تطحن الصخور للحصول على الحصويات بالشكل المألوف.

يمكن أن تأتي الحصويات أيضاً صنعياً كالحصويات المصنوعة من الغضار المشوي أو خبث الأفران العالية(مخلفات تعدين الحديد) أو غيرها.

ولضمان جودة البيتون تشترط المواصفات المعتمدة في أغلب الدول بعض المعايير الهامة التي يجب أن تحققها الحصويات والتي نذكر منها:

1- يجب أن تكون الحبيبات الحصوية صلبة قوية و نظيفة وذات تركيب كيماوي مناسب وخالية من المواد الغريبة كأوراق الأشجار أو نفايات الأخشاب الجبس.... الخ.



الشكل (1-1)

2- يجب أن تكون خالية تقريباً من المغلفات الملتصقة والمواد الضارة كالأتربة والأملاح والشوائب والمواد العضوية التي تؤثر تأثيراً ضاراً في زمن التجمد أو المقاومة الميكانيكية للبيتون أو الديمومة ، أو تضر بفولاذ التسليح ، كما يجب ألا تزيد نسبة المواد الناعمة والشوائب الأخرى عن القيم التي تحددها المواصفة القياسية السورية وهي (3)%.{ 4}

3- يجب أن تعطي الحصويات المستخدمة في البيتون مقاومة ميكانيكية عند اختبارها منفردة أكبر من مثلي المقاومة الميكانيكية التي سيعطيها البيتون المصنوع باستخدام هذه الحصويات.

4- يشترط عموماً ألا يزيد القطر الأعظمي للحصويات في البيتون (D_{max})عن ربع البعد الأصغري لعنصر البيتون المصبوب باستخدام هذه الحصويات.

5- يجب ألا يزيد القطر الأعظمي للحصويات (D_{max}) عن المسافة الدنيا بين قضبان التسليح في القالب.

6- يجب أن يقترب شكل الحصويات قدر الإمكان من الشكل الكروي أو المكعب البعيد عن الفلطحة والإبرية وهو ما يعبر عنه بمعامل التسطح الذي يجب ألا يزيد عن حد معين.

7-يجب أن تحقق الحصويات تدرجاً حبياً مناسباً يؤمن اكتنازاً جيداً للبيتون وقابلية تشغيل جيدة له في الحالة الطرية.

تعتمد طرق التصميم على منحنيات تدرج حبي معيارية مناسبة لصناعة البيتون أو على طرق تحليلية خاصة تسمح بإيجاد التدرج الحبي الذي يحقق أفضل اكتناز وأقل مسامية للخلطة الحصوية.

1.1.2-مصادر الحصويات:

أ- الحصويات النهرية، ويقصد بذلك البحص والرمل الطبيعيان المتراكمان بفعل جريان الماء، ولا يعني بالضرورة أن يستخرجا من الأنهار فقط، بل يمكن الحصول عليهما من مقالع ناتجة عن تراكمات قديمة من شاطئ البحر.

ب-الحصويات الناتجة من تكسير الحجر الكلسي الصلب في المكاسر، على أن يكون الحجر المستعمل مصمتاً مليئاً ولا يتأثر بالهواء أو الماء أو الصقيع وأن تكون الحبيبات أقرب إلى التكور والتكعيب أي لا تكون فيها نسبة عالية من الحبيبات الرقيقة.

ج- الحصويات الناتجة عن تكسير الحجر البازلتي الصلب والمليء، على أن يكون شكل الحبيبات كما ورد في الفقرة السابقة.

2.1.2-نظافة الحصويات:

أ- يجب أن تكون الحصويات نظيفة وخالية من كل ما من شأنه أن يقلل من متانة البيتون أو يؤثر تأثيراً سيئاً في حديد التسليح. وبصورة خاصة يجب أن تكون خالية من البقع الطرية والعروق الطفيلية والمواد العضوية والمواد الترابية والمواد اللاصقة والأجسام الغريبة كقطع الفحم، الخشب، وكذلك المواد الكبريتية والجصية.

ب-إن وجود الغبار الناعم على وجه البحص يحول دون التصاق الإسمنت بالبحص، ولذلك يجب غسل البحص بالماء حتى يتخلص من ذرات الغبار والغضار العالقة به إذا زادت نسبتها عن المسموح به، وفي حالة استعمال الرمل البحري يجب غسل الرمل بالماء لتنظيفه من الأملاح.

ج- تؤخذ عينات من الحصويات المعدة للاستعمال في الورشة، وترسل إلى أحد المخابر المعتمدة لإجراء الفحوص الآتية وفقاً للمواصفات المعتمدة:

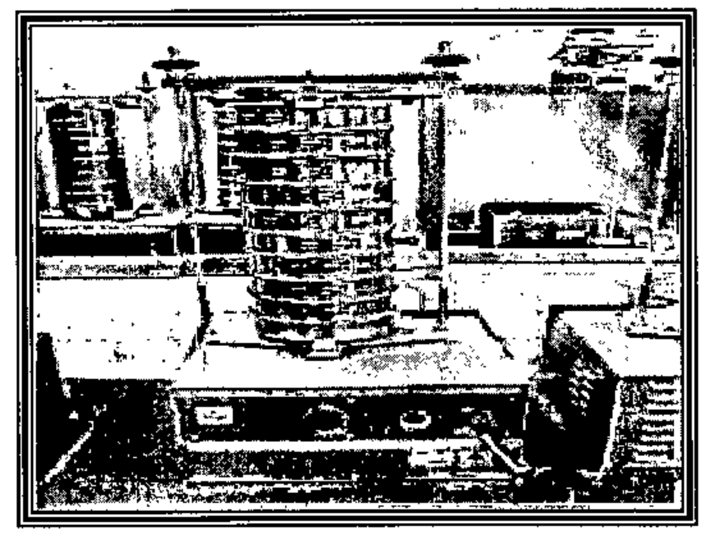
- كشف المواد العضوية بطريقة الكاشف اللوني (كولورميتري)
- تحديد نسبة الغبار الناعم.
- تحديد نسبة المسامات الفارغة.

- تحديد نسبة الحبيبات الرقيقة.{ 6}

3.1.2-التدرج الحبيبي للحصويات:

خلطة الحصويات الشاملة:

يجري الحصول على خلطة الحصويات الشاملة من خلط نوعين على الأقل من الحصويات (بحص ورمل) مخزنين كل على حدة في الموقع ويتم خلطهما معاً في خلاطة البيتون.



الشكل (1-2)

سلسلة المناخل النظامية

يجب أن تكون حبيبات البحص والرمل ذاتها متدرجة وبالنسب التي نحصل معها (بعد الخلط) على أقل حد ممكن من الفراغ بين الحبيبات(مسامية دنيا) أي أن تكون الكثافة في الحدود العظمى. وللتأكد من ذلك، تؤخذ عينات من البحص والرمل وتفرز بالمناخل المنصوص عليها بالمواصفة القياسية السورية (رقم 634) مثلاً إلى مختلف العناصر المكونة لها بحسب قياس الحبات. ويرسم الخط البياني للتدرج ويقارن بالخطوط البيانية

النموذجية. فإذا تبين أنه يبتعد عنها، يعدل التركيب الحبي بزيادة بعض العناصر الناقصة أو إنقاص بعض العناصر الزائدة حتى الوصول إلى التدرج الأنسب. في الورشات الصغيرة أو التي يتعذر فيها إجراء الاختبارات المذكورة أعلاه، يمكن إتباع الخطوات التالية:

- تفرز الحصويات إلى الأنواع الخمسة الآتية:

– الرمل الناعم الذي تقل أبعاد حبيباته عن (D_{max}<2mm).

– الرمل الخشن الذي تتراوح أبعاد حبيباته بين (2<D<5).

– البحص الناعم الذي تتراوح أبعاد حبيباته بين (5<D<15).

– البحص المتوسط الذي تتراوح أبعاد حبيباته بين (15<D<25).

– البحص الخشن الذي تتراوح أبعاد حبيباته بين (25<D<50).

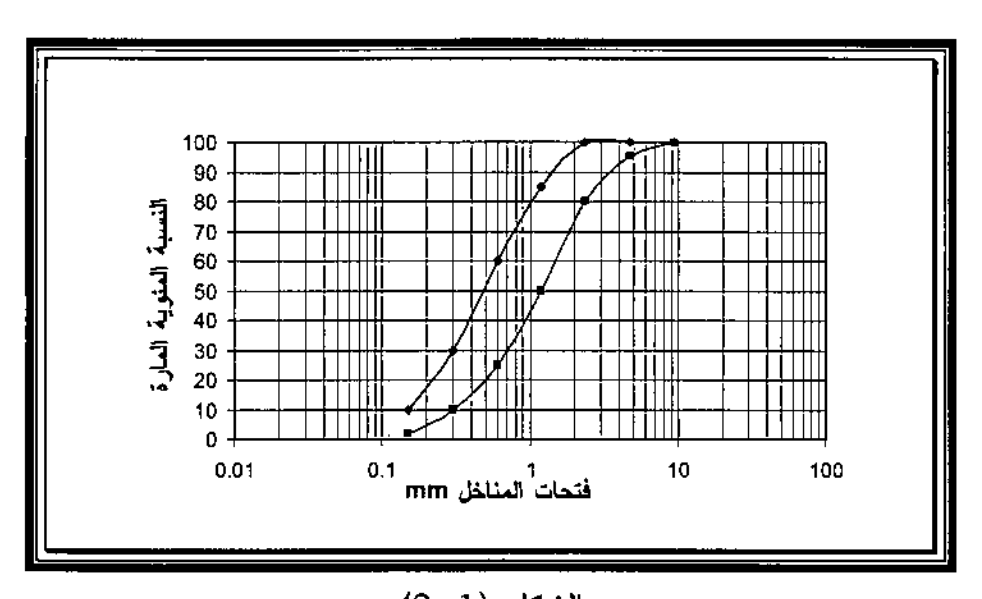
د– حدود التدرج:

تمثل حدود التدرج بمنحنيين تحدد منطقة التدرج المفضل والتدرج المقبول كنسبة مئوية مارة بالوزن، حيث تمثل المساحة الواقعة ما بين المنحنيين أ و ب التدرج الحبي المفضل للرمل حسب المواصفة القياسية السورية رقم (332) لعام 1985.{4} وفيما يلي الجدول الذي يوضح نسب التحليل الحبي المنخلي:

فتحة المنخل	النسبة المئوية المارة
9.5mm (3/8) إنش	100
4.75mm (رقم 4)	100–95
2.36mm (رقم 8)	100–80
1.18mm (رقم 16)	85–50
600ميكرون (رقم 30)	60–25
300 ميكرون (رقم 50)	30–10
150ميكرون (رقم 100)	10–2

الجدول (1–1)

نسب التحليل الحبي المنخلي للرمل وفق المواصفة القياسية السورية رقم(332) لعام 1985



الشكل (1–3)

منحني الحزمة النظامية للرمل حسب المواصفة القياسية السورية رقم(332) لعام 1985

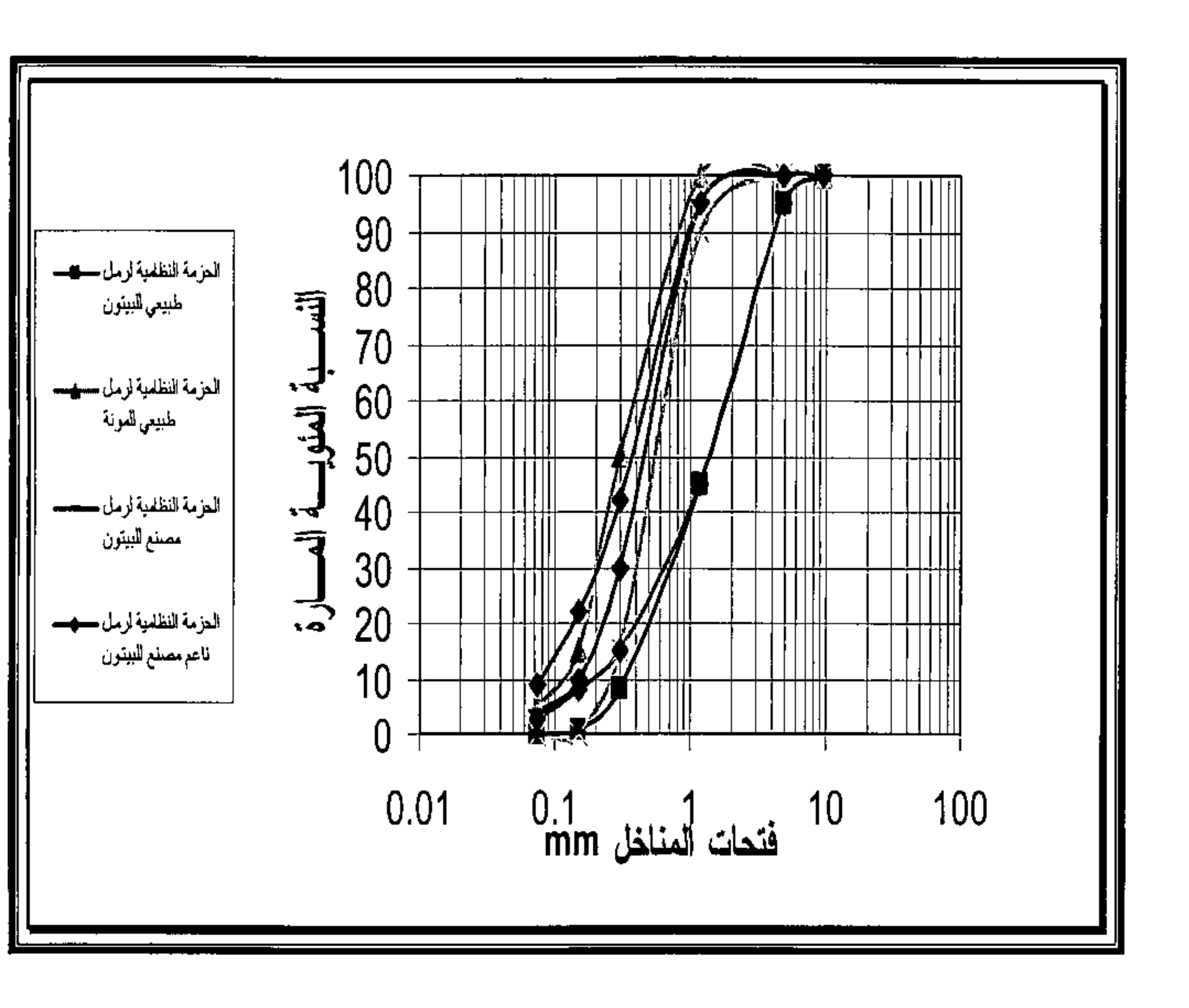
يجب ألا تتجاوز نسبة المحجوز من الحصويات الناعمة أكثر من (45) % بين أي منخلين متعاقبين من المناخل المبينة في هذا الجدول كما يجب ألا تقل معاملات النعومة لها عن (2.3) وألا تزيد عن (3.1).{ 15}

يبين الجدول الآتي الحزمة النظامية للرمل وفق AASHTO

الوصف	النسبة المئوية المارة من كل منخل					
	3/ 8 in (9.5 mm)	**No. 4 (4.75 mm)**	**No. 16 (1.18 mm)**	**No. 50 (300 µm)**	**No. 100 (150 µm)**	**No. 200 (75 µm)**
رمل طبيعي للبيتون	100	95-100	45-95	8-30	1-10	0-3
رمل طبيعي للمونة	100	100	90-100	15-50	0-15	0-5
رمل نظامي مصنع للبيتون	100	95-100	45-95	8-30	1-10	0-4
رمل مصنع ناعم للبيتون	100	95-100	45-95	15-42	8-22	3-9

التدرج الحبي وفق AASHTO T27

الجدول (1−2)



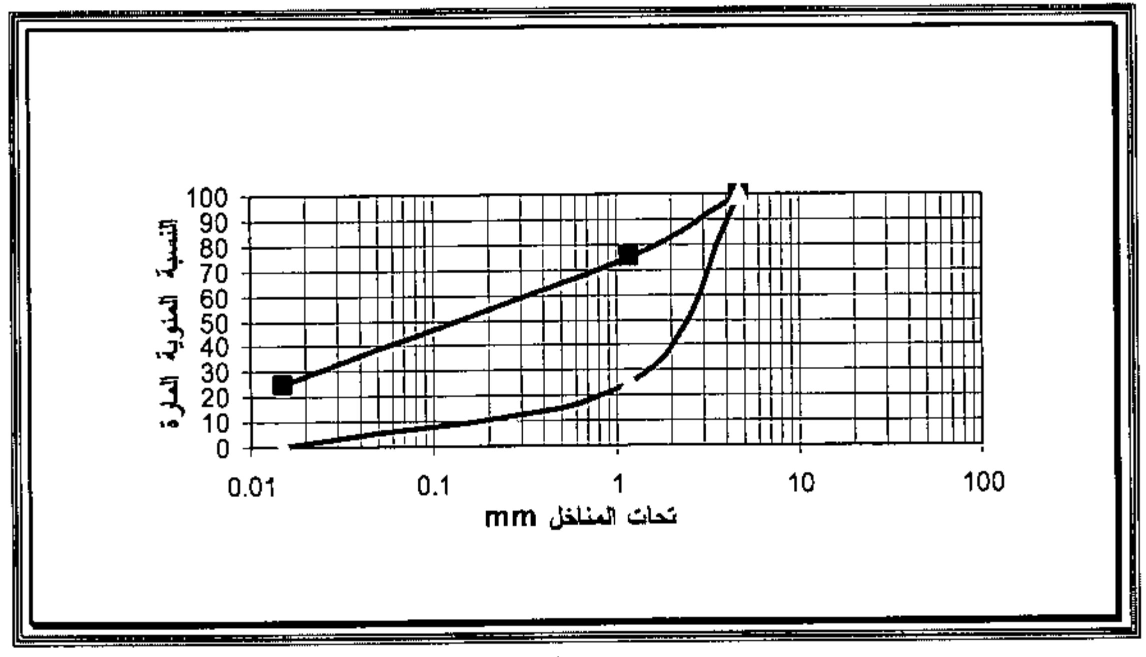
الشكل (1−4)

منحني الحزم النظامية للرمل وفق AASHTO T27

- التدرج الحبي وفق /ASTM /C295

النسبة المئوية وزناً	الحجم
100	مار من المنخل No. 4 (4.75 mm)
25-75	مار من المنخل No. 16 (1.18 mm)
0-25	مار من المنخل No. 100 (150 µm)

الجدول (1-3)



الشكل (1-5)

منحني الحزمة النظامية للرمل وفق /ASTM /C295

2.2-المتطلبات الفيزيائية للحصويات:

1- التآكل:

يجري تعيين قيمة التآكل باستخدام آلية لوس أنجلوس ويكون أقصى حد التآكل(حسب المواصفة القياسية السورية 1985/332):

-(30) % عندما تكون المقاومة ≤ $200kg/cm^2$.

-(40) % عندما تكون المقاومة > $200kg/cm^2$.{ 4 }

2- الصمود: { 4 }

يجب ألا تبدي الحصويات الخاضعة لخمس دورات من اختبار الصمود نقصاً بالوزن يزيد على:

الحصويات الناعمة	الحصويات الخشنة
(10)% باستخدام كبريتات الصوديوم	(12)% باستخدام كبريتات الصوديوم
(15)% باستخدام كبريتات المغنزيوم	(18)% باستخدام كبريتات المغنزيوم

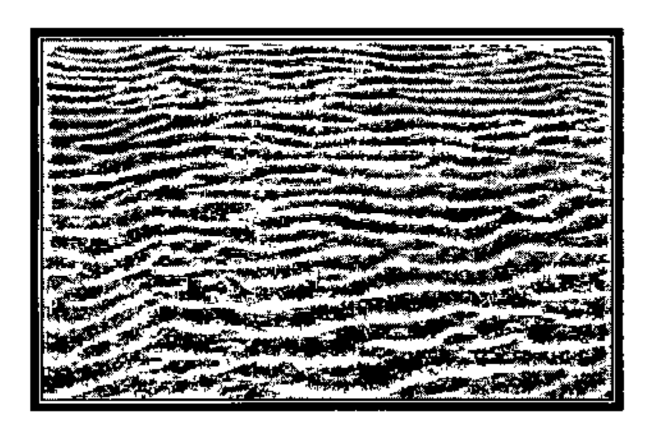
الجدول (1-4)

النقص في الوزن المسموح للحصويات في اختبار الصمود حسب المواصفة القياسية السورية (1985/332)

3- تعريف الرمل:

الرمل عبارة عن مادة خشنة إلى حد ما، تتشكل من تفتت الصخور الرملية وتتــوزع بأبعــاد متدرجة بين (2mm - 0.0625mm).

- تسمى الحبيبات التي تتراوح أقطارها بين (0.004mm-0.0625mm) السيلت
- تسمى الحبيبات التي أقطارها أكبر من (2mm) الحصى.



الشكل (1-6)

يصنف الرمل بشكل عام وفق أقطار حبيباته إلى:

1- الرمل الناعم جداً (1/16 mm - 1/8 mm)

2- الرمل الناعم (1/8 mm - 1/4 mm)

3- الرمل المتوسط (1/4 mm - 1/2 mm)

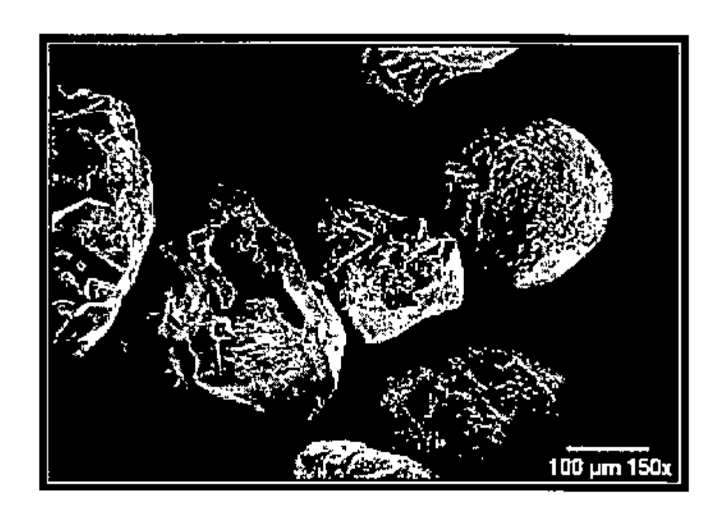
4- الرمل الخشن (1/2 mm - 1 mm)

5- الرمل الخشن جداً (1 mm - 2 mm)

4- تأثير الرمل على نفاذية البيتون:

- من المعلوم أن النقص في الرمل الناعم يمكن أن يؤثر سلباً في فراغات البيتون حيث أن الملاط الإسمنتي لا يكفي لتعبئة جميع الفراغات بين حبيبات الحصويات.
- يجب أن يكون الرمل المستخدم في صناعة البيتون نظيفا وخالياً من الطمي، الطين أو الغبار. وللعلم، فإن المستحلب المتكون من هذه المواد والمـاء يشـكل غلافـاً غيـر مرغوب فيه فوق حبيبات الحصى وحديد التسليح، فيمنع الترابط القوي بين الحصويات وفولاذ التسليح مع العجينة الإسمنتية. ولكن في الوقت نفسه، لابد مـن وجـود مـادة ناعمة كافية في الرمل لملء الفراغات بين الحبيبات الأكبر.
- هناك أهمية أخرى للرمل الناعم وهي أن الطبقات الخارجية للمنشآت البيتونية تتكـون أساسا من الملاط المتكون خلال رج البيتون في القوالب وعنـد تعـرض البيتـون لأسباب التدهور المختلفة، فان مقاومته لهذه العوامل المختلفة تبدأ من خلال المـلاط الذي يتكون على السطح الخارجي للبيتون، لذلك فإن نفاذية الملاط هي أحد العوامـل الأساسية في تحسين ديمومة البيتون.
- يجب أن تتم معالجة الرمل في الخلطة البيتونية بطريقة غسيل فنية لإخراج الشـوائب كافة وتقليل نسبة الأملاح الموجودة في الرمل كما يجب فحـص محتـوى الشـوائب العضوية في الرمل المستخدم في الخلطات البيتونية لأن تحلل هذه الشوائب يؤثر فـي نوعية البيتون ويقلل من مقاومته.
- إن العامل الآخر الذي يؤثر في نفاذية البيتون هو نسبة الحبيبات الناعمة إلى محتوى الحصويات الكلي، حيث يمكن أن يؤدي استخدام الرمل الناعم إلى صعوبة في قابليـة

تشغيل البيتون وخاصة إذا زادت نسبة الرمل في محتوى الحصويات الكلي للبيتون كما أن النعومة الزائدة للرمل تؤدي إلى زيادة في كمية الماء اللازم للخلط كذلك تدرج حبيبات الرمل وشكل الحبيبات يؤثر في نفاذية البيتون حيث يجب أن تكون حبيبات الرمل كروية الشكل قدر الإمكان.{ 3}



الشكل (1-7)

شكل حبيبات الرمل

5-نعومة الرمل (Module Fineness):

تدل قيمة معامل النعومة MF للرمل على الخشونة أو النعومة النسبية التي تتمتع بها حبيباتـــه فهي بشكل أو بآخر تعطي فكرة عن المقاس الوسطي للأقطار من أصغرها إلى أكبرها لـــذلك يُعمد إلى دراسة التدرج الحبي له لحساب قيمته وهو يساوي:

مجموع النسب المئوية التراكمية المحجوزة على كل منخل من مناخل الحصويات القياسية وهي للرمل 0.15-0.3-0.6-1.18-2.36-4.75-9.5)mm) مقسوماً على 100.

ويعبر معامل النعومة عن الحجم المتوسط لحبيبات الحصويات ولا يدل علـــى مـــدى تـــدرج الحصويات من عدمه.

ويستخدم معامل النعومة في عدة طرق لتصميم الخلطات البيتونية كالطريقة الفرنسية Dreux Gorisse ويتراوح معامل النعومة للرمل بين (3.75-1.5) % وللبحص (5- 8)%

ويصنف الكود الأوروبي الرمل حسب معامل النعومة إلى:

- $(1.5 < MF < 2)$ رمل ناعم جداً
- $(2 < MF < 2.6)$ رمل ناعم
- $(2.6 < MF < 2.8)$ رمل متوسط
- $3.2 < MF$ رمل خشن.{ 9}

6- الشوائب التي يحتمل وجودها في الرمل:

1.6.الغضار:

هو شائب يؤثر سلباً على خواص العجينة الإسمنتية والبيتون وخصوصاً عندما يغلف سطح الحبيبة الحصوية فيعوق التصاقها مع الاسمنت ويخفض مقاومة الخرسانة الميكانيكية ويخفض متانتها ومقاومتها للصقيع المتكرر.

تعين نسبة الغضار والبودرة بطريقة غسل العينة وتحدد نسبتها العظمى بـ (2) %.

2.6. المواد الحوارية:

هي نواتج ذات طبيعة حمضية ناتجة عن تحلل البقايا النباتية والحيوانية تؤثر في فترة شك الإسمنت .

تعين المواد الحوارية في الرمل بمعالجته بمحلول ماءات الصوديوم ذي التركيز (3) % حيث يجب أن يصبح لونه أصفر غير غامق.

3.6. الكربون:

يؤثر سلباً على خواص البيتون والمونة خصوصاً بوجود الكبريت حيث يتأكسد وينتج انتفاخا في الحجر الإسمنتي.

تعين نسبة الكربون بمعالجة الرمل بمحلول مركز من كلور الكالسيوم بأسطوانة زجاجية .

تحدد نسبة الكربون العظمى بـ (0.5) % في الرمل ولا يسمح بوجوده في الحصى المكسر.

4.6. الميكا:

إذا كانت نسبتها كبيرة فإنها تنقص قابلية التشغيل في البيتون والمونة وتعيق الرص وتـنقص المقاومات الميكانيكية .

تعين بغسل الحصويات بتيار ماء على منخل فتحته 0.6 mm فيحجز الميكا.

يجب أن تكون نسبة الميكا أقل من (1) % في الرمل و أقل من (3) % في الحصويات.

5.6. الأملاح المنحلة:

تؤدي إلى تملح سطح العنصر البيتوني وإذا زادت نسبتها فإنها تسبب انتفاخاً في الحجر الإسمنتي وتآكلاً في التسليح.

هذا وقد حددت الـ ASTM الحدود العليا المسموح بها للشوائب في الرمل كما يأتي:

المـادة	النسبة المئوية العظمى وزناً
الغضار	0.5 كحد أعلى في العينة
الكربون	0.5 كحد أعلى في العينة
مواد أخرى	2 كحد أعلى في العينة

الجدول (1-5)

النسب المسموحة للشوائب في الرمل حسب ASTM

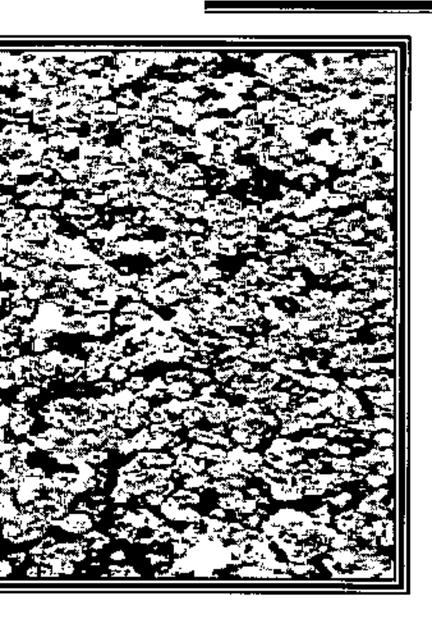
كما حددت المواصفة القياسية السورية رقم (1985/332) الحدود الوزنية القصوى المسموح بها للمواد الضارة للحصويات مبينة في الجدول الآتي:

نوع المواد الضارة		الحدود الوزنية القصوى المسموح بها للمواد الضارة للحصويات	
		الحصويات الناعمة	الحصويات الخشنة
مواد أنعم من 75 ميكرون	حصويات طبيعية	(3)% للبيتون الخاضع للتآكل. (5)% للأنواع البيتونية الأخرى	حد أقصى (1)
	حصويات مكسرة	(5)% للبيتون الخاضع للتآكل. (7)% للأنواع البيتونية الأخرى	
كتل غضارية وجزيئات سهلة التفتت		حد أقصى (3)	
الفحم والمواد الكربونية		عندما يكون مظهر سطح البيتون هاماً (0.5)%	
		الأنواع البيتونية الأخرى (1)%	
كلوريدات ذائبة		كلوريدات الصوديوم الذائبةNaCl (0.01)	بيتون مسلح أو بيتون مسبق الاجهاد أوتاره محمية داخل أغماد
		حد أقصى (0.4)% بالوزن من الإسمنت	
		(0.02)% بيتون مسبق الاجهاد والأوتار ليست داخل أغماد	
ثالث أكسيد الكبريت(SO_3)		حد أقصى (0.4)%	
المحتوى الكلي للكبريتات		حد أقصى (4)% وزناً من الإسمنت (تتضمن الكبريتات الموجودة بالاسمنت)	

الجدول (1−6)

النسب المسموحة للشوائب في الحصويات حسب المواصفة القياسية السورية

رقم(332) لعام 1985



الشكل (1-8)
الرمل الكوارتزي

7- تأثير التركيب الحبي للرمل:

إن تأثير هذا العنصر ضعيف في تقلص المونة الإسمنتية خصوصاً إذا كان المنحني الحبّي للرمل واقع بين الحدين الأعظمي والأصغري للتركيب الحبّي العام للرمل ولكن يجب ملاحظة أن التقلص يكبر إذا كانت كمية الرمل الناعم الداخلة في تركيب المونة كبيرة (معامل نعومة صغير).

8- الرمل والتحليل الحبّي:

يشكل الرمل الحجارة الأساسية في إنتاج المونة و البيتون سواءً كان الرابط مائياً كالكلس أو الإسمنت أم فحمائياً كالبيتومين أو القطران.

أما حبات الرمل فتكون عادة متوسطة الحجم بين البودرة و البحص و تتراوح أبعادها بين (0-5)mm .

يمكن التمييز بين ثلاثة أنواع للرمل بحسب تدرجه الحبي و أقطار الحبيبات :

- الرمل الناعم و تتراوح أبعاده بين (0.1-0.5)mm.
- الرمل المتوسط و تتراوح أبعاده بين (0.5-2)mm.
- الرمل الكبير و تتراوح أبعاده بين (2-5)mm.

1.8-اكتناز المونة الإسمنتية تبعاً لتركيبها الحبّي:

يعرف الاكتناز بأنه نسبة الكثافة الظاهرة على الوزن النوعي و هو يساوي أيضاً إلى نسبة الحجم الحقيقي للمواد الجافة على الحجم الكلي للمونة.

و للحصول على مونة إسمنتية ذات اكتناز أعظمي يجب أن يكون التركيب الحبّي للرمل جيداً و واقعاً ضمن الحزمة النظامية و أن يكون عيار الإسمنت في المونة كافياً.

2.8- قياس المكافئ الرملي (Sand Equivalent):

وضعت تجربة قياس المكافئ الرملي موضع التنفيذ في الولايات المتحدة الأمريكية عام (1950) من قبل العالم "هفيم" لدراسة خواص التربة و هي تجربة مستعملة بكثرة في مختبرات الطرق و تهدف إلى تعيين نسبة الشوائب للمواد الغضارية و الطينية أو العناصر الناعمة جداً الموجودة مع الرمل و الحصى المستعملين في البيتون .

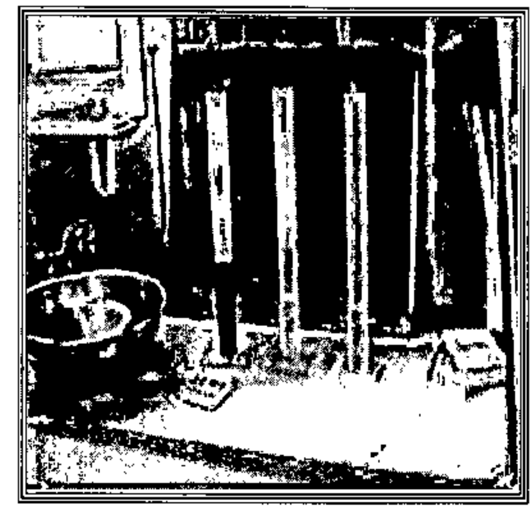
تنفصل العناصر الغضارية و الناعمة جداً عن حبات الرمل وتطفو على سطح السائل المستعمل في غسل الرمل، و لحساب قيمة المكافئ الرملي نقيس نسبة الرمل على المجموع الكلي للمواد بما فيها الشوائب لنحصل على نسبة مئوية فعلية لكمية الرمل النظيف .

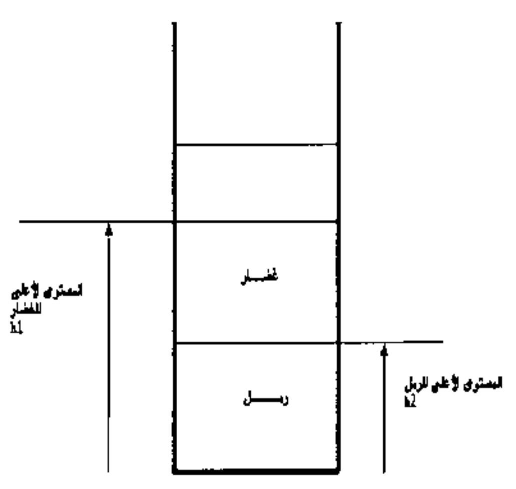
يوضع المحلول في حوجلة و على ارتفاع قدره (1m) تقريباً من المخبار المدرج ، نملأ المخبار بالمحلول حتى (10cm) اعتباراً من القاعدة ثم نضع في المخبار($90cm^3$) من حبات الحجارة المنخولة بالمنخل (5mm) بوساطة قمع ويجب اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة لطرد فقاعات الهواء ثم نترك المخبار يهدأ مدة(10دقائق)

ثم نرج المخبار بقوة و هو أفقي بعد إغلاقه بصورة محكمة بمقدار (90) مرة ذهاباً و إياباً بشوط طوله (20cm) لمدة (30sec) تقريباً مما يسمح للعناصر الناعمة أن تنفصل عن الحصى و الرمل .

يمكن أن يكون الرج يدوياً أو ميكانيكياً، بعدها نرفع سدادة المخبار و ندخل الأنبوب الغاسل لرش جدرانه بحيث يصل إلى أسفل المخبار مع تحريكه حركة دورانية وحركة أخرى إلى الأعلى و إلى الأسفل الأمر الذي يسمح للعناصر الناعمة أن تنفصل بصورة كاملة عن الرمل ثم نرفع الأنبوب الغاسل بصورة تدريجية حتى نصل إلى التدريج الثاني والذي يبتعد (38cm) بالنسبة لقاع المخبار ثم نرفعه نهائياً فينقطع بذلك جريان السائل ثم نترك المخبار ليهدأ مدة (20) دقيقة حيث تطفو العناصر الغريبة على سطح الرمل في المخبار بارتفاع قدره (h_1) ثم ندخل بتأنٍ في المخبار مكبس بوزن (1kg) حتى يقف باصطدامه بالرمل و نسجل الارتفاع (h_2) ويكون المكافئ الرملي بالتعريف هو:

$$SE=100*(h_2/h_1)$$





الشكل (1−9)

تجربة المكافئ الرملي

تتراوح قيمة المكافئ الرملي بين (0-100) والقيم الحدية هي :

- رمل لا يحتوي على أي عنصر غضاري أو عناصر ناعمة جداً عند ذلك يكون :

$SE=100$ و $h_1=h_2$

- −الرمل كله عبارة عن غضار وعناصر ناعمة جداً عند ذلك يكون :

$SE=0$ و $h_2=0$

تُعد هذه التجربة سهلة رخيصة الأدوات المستعملة و يجب إكمالها بتجربة التحليل الحبّي للعناصر الناعمة .

− إذا كان المكافئ الرملي (SE=80) أو أكثر فيمكن اعتباره نقي إلا إذا استعمل الإسمنت البورتلاندي الصناعي C.P.A في صنع البيتون فيمكن قبول قيمة منخفضة حتى (75)

- أما إذا كان المكافئ الرملي (SE=75) أو أقل فيمكن التسامح باستعمال ذلك الرمل بشـرط أن يغسل بصورة جيدة أو ينخل لحذف العناصر الناعمة

وقد تبين أنه كلما كانت قيمة المكافئ الرملي كبيرة كلما كانت مقاومة البيتون كبيرة و العكس صحيح .

3.8-الرمل النظامي:

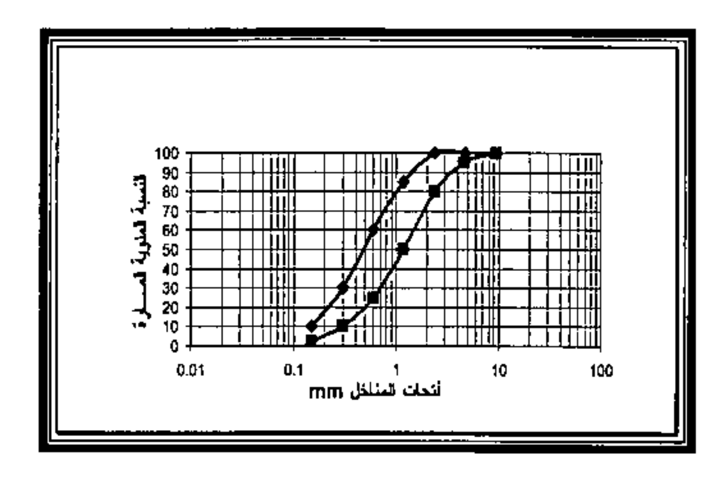
يلخص الجدول التالي مواصفات الرمل النظامي:

نسبة السيلكا	نسبة الشوائب	الفاقد بالتسخين	الوزن النوعي g/cm^3	المحجوز على المنخل(0.85) cm	المار من المنخل(0.2) mm	الرطوبة	الوزن الحجمي في الحالة المخلخلة g/l	الوزن الحجمي في الحالة المرصوصة g/l
%96	%1	%0.3	-2.62 2.66	≥%3	≥%8	0.25 %	-1500 1550	-1770 1820

الجدول(1-7)

مواصفات الرمل النظامي

أما التدرج الحبي لهذا الرمل وفق المواصفة السورية كما في المنحني الآتي:



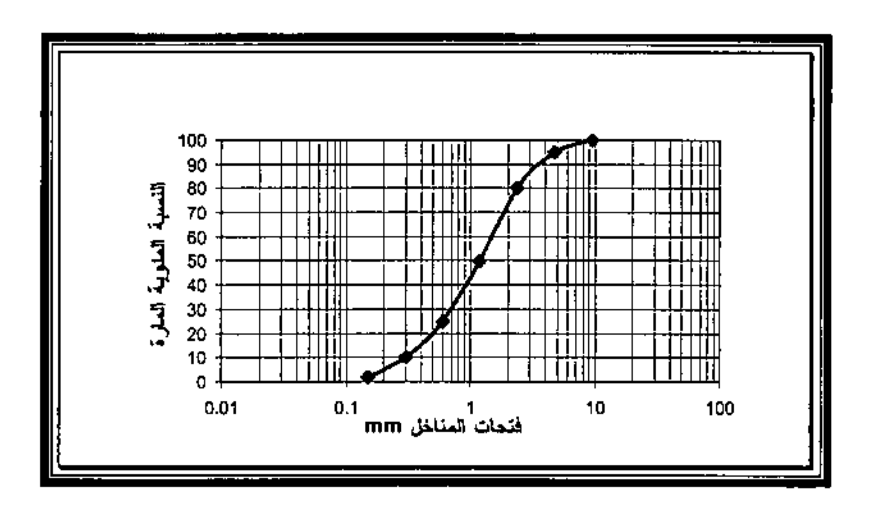
الشكل (1-10)

9- أشكال المنحنيات الحبية

1.9) المنحني المستمر أو المنحني جيد التدرج :

يعني ذلك أنه توجد حبيبات بكافة الأقطار و بنسب متقاربة من بعضها، إذ يوجـد فـي هـذا المنحني حبيبات خشنة ومتوسطة وناعمة. الشكل (1-11).

يعتبر هذا المنحني المفضل في الأعمال كافة؛ لأن تدرج الحبيبات يعطي كثافة عالية للخلطة و مقاومة جيدة لها .{ 10}

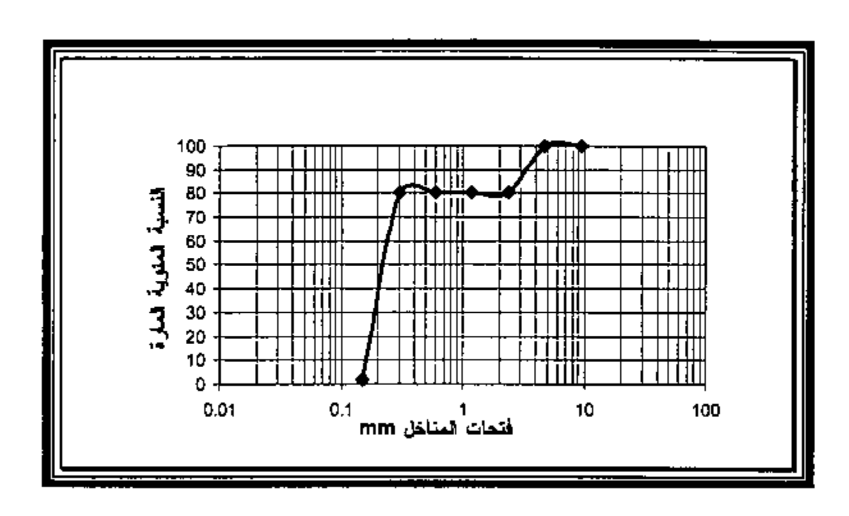


الشكل (1-11)

المنحني المستمر أو المنحني جيد التدرج

2.9) المنحني المنقطع :

يدعى أيضاً بالمنحني سيء التدرج. الشكل(1−12) و يدل هذا المنحني على وجود حبيبات خشنة فيه و حبيبات ناعمة أما الحبيبات المتوسطة فهي قليلة جداً أو معدومة .{ 10}



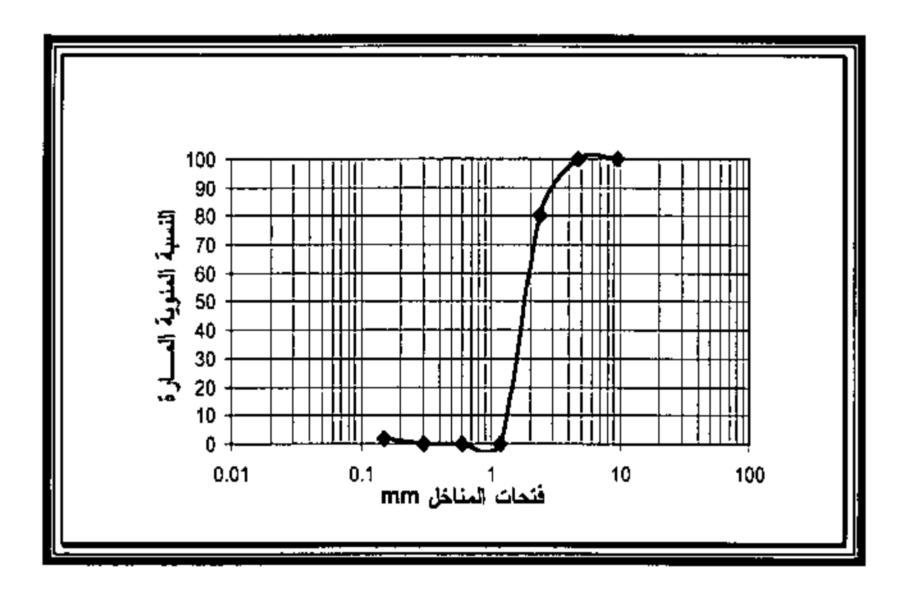
المنحني المنقطع

الشكل (1−12)

3.9) المنحني المنتظم التدرج (وحيد التدرج) :

يكون عادةً ذا ميل شديد و قريب من الخط الشاقولي و هذا ما يعني أن كافة حبيبات هذا المنحني لها نفس القطر أو أن مجال تغيير الأقطار فيها هو ضعيف جداً. الشكل (1−13).

إن أفضل المنحنيات الثلاثة هو المنحني المستمر أو جيد التدرج و هو المطلوب دوماً لأعمال البيتون و أعمال الفرق أما المنحنيات الأخرى (المنقطع أو سيء التدرج و المنتظم) فهما غير مرغوبين و يجب تعديلهما حيثما وجدا حتى يصبحا صالحين للاستعمال.{ 10}



الشكل (1-13)

المنحني المنتظم التدرج (وحيد التدرج)

10- مساوئ استخدام رمل الشاطئ في البيتون:

- البيتون مادة حساسة لأي نوع من أنواع الأملاح أو الشوائب وبالتالي فإن جودتها وصلابتها تتدهور في حال عدم استخدام مواد نظيفة وخالية من الشوائب والأوساخ والمواد العضوية القابلة للتحلل والمواد الكيمائية التي من الممكن أن تتفاعل مع الماء لتولد مواد ضارة بالبيتون.
- استعمال الرمل من الشاطئ مباشرة أمر مرفوض وخطير وغير محبذ بتاتاً ويجب أن تمر الرمال بعمليات معالجة مكثفة وفق مواصفات ومقاييس محددة حتى تصبح صالحة للاستخدام.
- الأملاح الموجودة في رمل الشاطئ تجعل منه عدواً خطيراً للبيتون. فهذه الأملاح لها القابلية والقدرة على صدأ حديد التسليح داخل البيتون والانتفاخ داخل البيتون مسببة شروخاً وشقوقاً واسعة في أنحاء متفرقة وكبيرة من جسم المنشأ

البيتوني وبالتالي تدهور جودته وقدرته على القيام بعمله بأكمل وجه بل والوصول إلى حد الانهيار الجزئي أو التام في حال عدم الصيانة الفورية والشاملة للجزء التالف من البيتون.

- فضلاً عن أن استخدام رمل الشاطئ يؤدي إلى تشويه المنظر الجمالي للشاطئ.



الشكل (1−14)

11-تنظيف أو غسل الرمل:

هو عملية فصل الغضار والسيلت وغيرها من الشوائب العضوية عن الرمل للإقلال ما أمكن من التأثير السلبي في جودة البيتون.

تؤثر الشوائب الموجودة في الرمل بشكل كبير في جودة البيتون المنتج وهو ما سنتطرق له بالتفصيل لاحقاً في هذا البحث.

تندرج عملية تنقية الرمال ما أمكن من الشوائب لتحسين أدائها في البيتون ضمن الأسس الهامة لنجاح الخلطة البيتونية.

استخدمت سابقاً وتستخدم الآن طرق مختلفة لتنقية الرمال من الشوائب بشكل يدوي أو آلي.

نعرض فيما يأتي مجموعة من هذه الطرق المستخدمة في بلدان مختلفة من العالم:

1.11 الطرق التقليدية البدائية لغسل الرمل:

- تعتمد هذه الطريقة على تقنيات بدائية تتلخص في تجميع الرمال ضمن أحواض مصنوعة لهذا الغرض شكل(1-15)



الشكل (1-15)

الطرق اليدوية في غسل الرمل

ثم تسليط تيار مائي على الرمل المجمع في الحوض يسمح بسحب الشوائب بنسبة معينة معه والخروج بها من خلال جدران الحوض التي تصنع عادة من البلوك الإسمنتي.

تتصف هذه الطريقة بالبدائية وتسمح بتخليص الرمل من الشوائب الغضارية بشكل عام بنسبة مقبولة وترتبط فعاليتها بنعومة الرمل المستخدم؛ إذ لن تسمح الحبيبات الناعمة في الرمل الناعم بمرور الماء مصطحباً معه الشوائب الغضارية وينحصر نجاحها في الرمال التي يزيد معامل النعومة فيها عن (2.5).

- ومن الطرق البدائية أيضاً غسل الرمل في أحواض الأنهار باستخدام أكياس نفوذة من البلاستيك أو القماش تسمح للمياه بالنفاذ مع ما ستحمله من شوائب غضارية من خلال فتحاتها الشكل (1-16).

تحتاج هذه الطريقة إلى جهد كبير للوصول إلى إنتاجية مقبولة.

تتصف هذه الطرق البدائية بعشوائيتها وضعف إنتاجيتها إضافة إلى الهدر الكبير في كمية الرمال وعدم انتظام العملية، إذ يمكن الحصول على رمال متفاوتة بشكل كبير في نظافتها باستخدام التقنية ذاتها.



الشكل (1-16)

الطرق اليدوية في غسل الرمل

2.11-الطرق الآلية المستخدمة في العالم لتنظيف الرمل:

تعتمد هذه الطرق على استخدام آلات ضخمة لزيادة إنتاجية التنظيف بما يتناسب مع حاجة المنشآت.

تشترك الطرق التي سنعرضها جميعاً بمبدأ واحد وهو استخدام المياه كمادة مساعدة لسحب الشوائب الغضارية من الرمال .

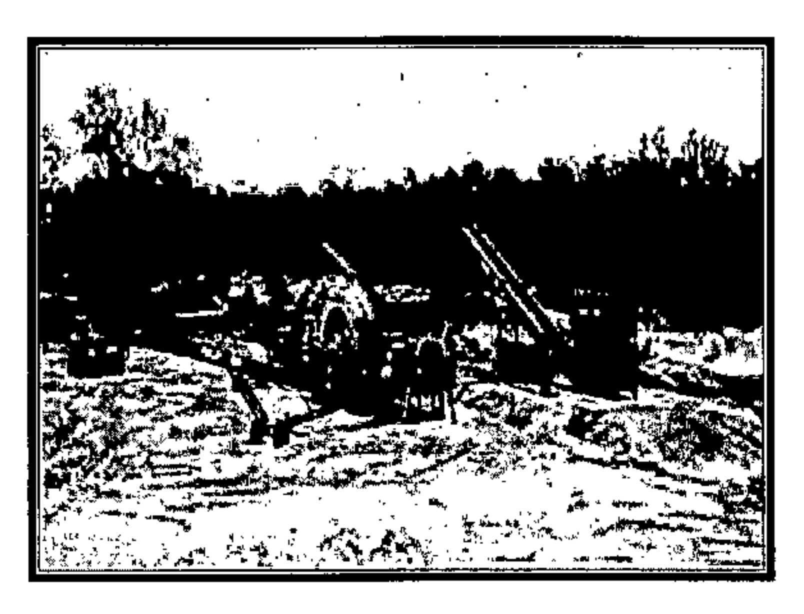
نعرض هنا بعض الطرق الآلية التي تستخدم بشكل محدود في بعض دول العالم:

2.11. 1-الغسل الآلي باستخدام النظام المنخلي(Finlay Hydrascreens):

تستخدم هذه التقنية في إيرلندا لغسل الحصويات والرمال الآتية من المقالع و التي يكسو سطحها مواد ناعمة غضارية و كلسية. الشكل (1-17-a) و الشكل (1-17-b).

تعتمد هذه الطريقة على إمرار الحصويات في البداية على مناخل ضخمة يوجه عليها بعد ذلك تيار ماء بضغطٍ عالٍ يسمح بنزع الشوائب الناعمة عن الحصويات لتعود نظيفة بشكل جيد وتبقى محجوزة على المناخل يتم بعدها إمرار نواتج الغسل (الرمل +النواعم+الشوائب) ضمن أحواض ترسيب خاصة.

يعمل ضمن أحواض الترسيب دولاب معدني مزود بشفرات موزعة بانتظام على محيطه يسمح عند دورانه بتخليص الرمل من نواتج الغسل ونقله إلى حوض آخر لتجميعه فيه ليصار إلى تجفيفه قبل استخدامه في البيتون. {12}



الشكل (1-17-a)

(Finlay Hydrascreens)



الشكل (b-17-1)

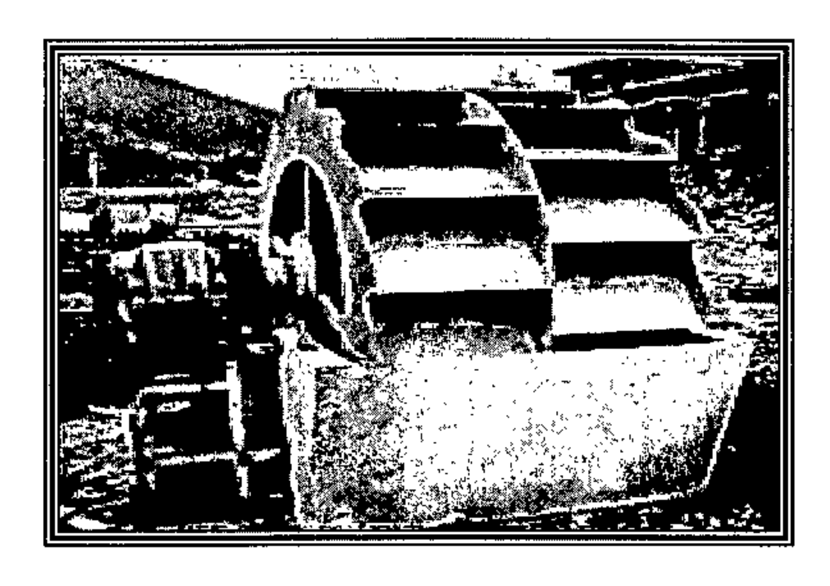
(Finlay Hydrascreens)

2.11. 2- آلة غسل الرمل(Sand washer):

تستخدم هذه التقنية في الصين وتشبه بآلية عملها الطريقة السابقة مع خصوصيتها لغسل الرمل فقط.

تتألف الآلية المستخدمة من دولابين ضخمين متجاورين مزودين بشفرات معدنية موزعة على محيطيهما وبمناخل تسمح بحجز الرمال بعد سحبها من الحوض الخاص الذي يحوي الرمل بعد تعريضه لتيار مائي قوي بهدف نزع الشوائب عن حبيبات الرمل ليصار إلى فصلها عنها بسلسلة المناخل التي زودت بها الدواليب.الشكل (1-18).{ 12}

تحتاج هذه التقنية كما سابقتها إلى كميات كبيرة من المياه عندما يتطلب العمل غسل كميات كبيرة من الرمال.



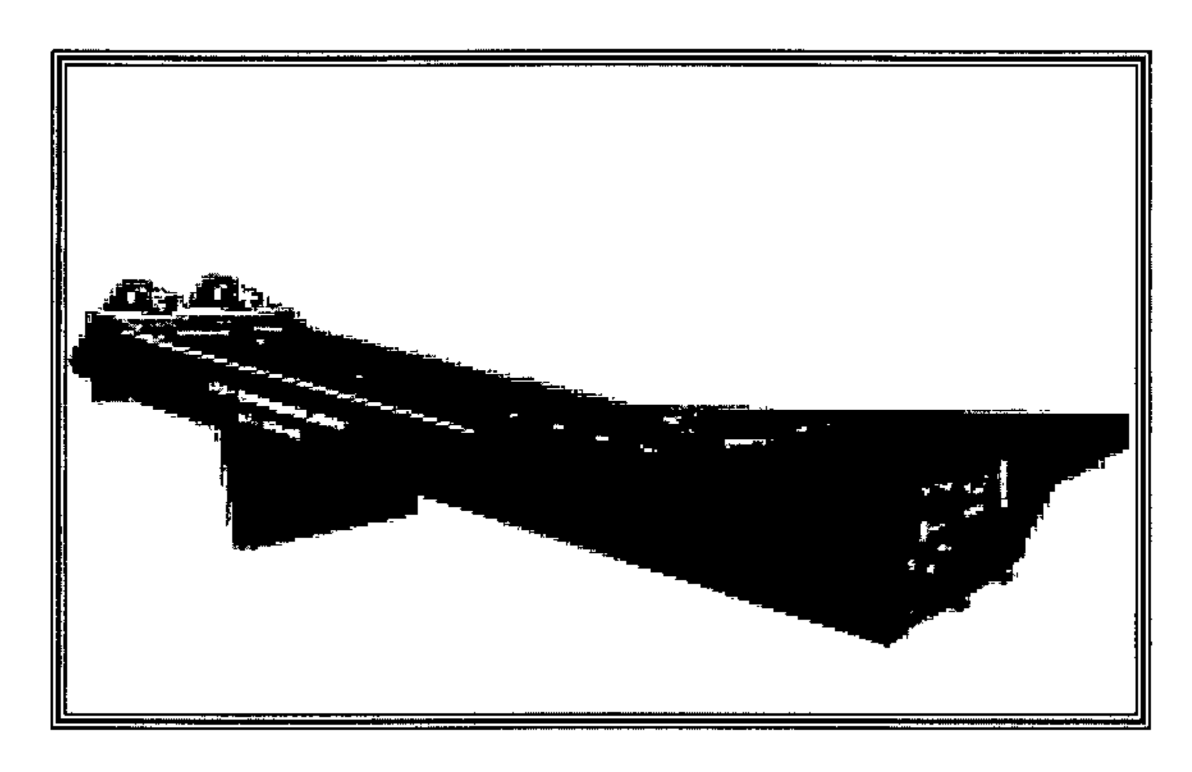
الشكل (1-18)

(Sand washer)

2.11 .3- طريقة السير الحلزوني (XL Seri):

تستخدم هذه الطريقة أيضاً في الصين وتختص فقط بغسل الرمال .

يعتمد مبدؤها على حركة محور معدني مزود بلولب حلزوني على كامل طوله يدور بوساطة محرك كهربائي في حوض يدعى حوض الترسيب مائل على الأفق بزاوية معينة هذا الحوض يحوي على رمل يتدفق إليه تيار مائي قوي عبر صفيحة ذات ثقوب متوضعة أسفل حوض الترسيب بعد ذلك يتم تصريف المياه عن طريق فتحات تصريف ومن ثم يتم تجفيف الرمل وفرزه إلى مقاسات. الشكل(1-19).



الشكل (1-19)

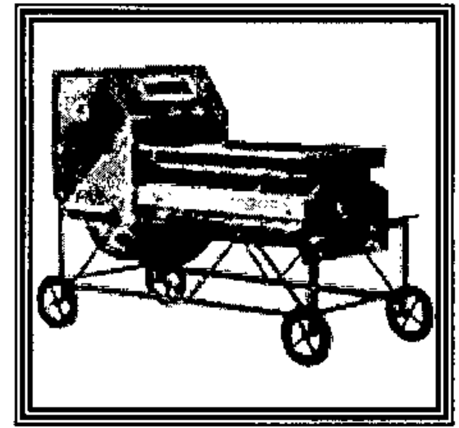
(XL Seri)

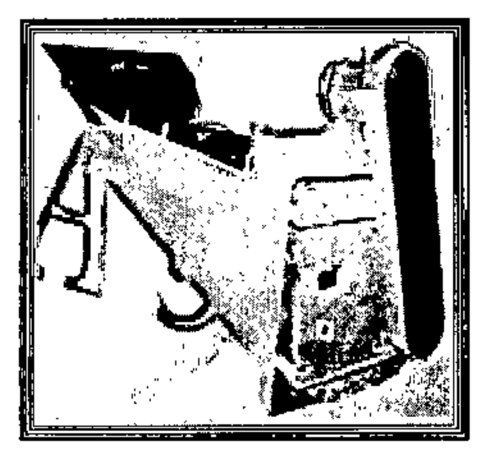
تتميز هذه الطريقة بأنها ذات هدر أقل من غيرها في كمية الرمـل مـن المقـاس الصـغير والمتوسط إلا أنها كغيرها من التقنيات السابقة تحتاج إلى كمية كبيرة من الماء لإتمام عمليـة الغسل.{ 12 }

3.2.11- طرق أخرى:

تتشابه الطرق الأخرى المستخدمة في العالم بالمبدأ ذاته وتشترك في الحاجة إلى مناخـل كبيرة وكميات ماء كبيرة أيضا لزيادة إنتاجية الغسل مع الاختلاف البسيط بآليـة العمـل الميكانيكي.

يبين الشكل الآتي (1–20) بعض هذه الآليات والتي تعتمد كما ذكرنا على سحب الرمـــال مع الماء من حوض الترسيب الذي يحوي على الماء والعوالق والرمال إلى حيـــز آخـــر فتتخلص فيه بمساعدة مناخل معينة من الماء المحمل بالشوائب.





الشكل (1–20)

آليات مستخدمة في العالم لغسل الرمل

الفصل الثاني

الدراسة التجريبية

الفصل الثاني

الدراسة التجريبية

عرضنا البرنامج التجريبي الذي قمنا بتنفيذه في البحث والذي يمكن تقسيمه إلى جزأين رئيسين هما:

1- دراسة تأثير نسبة الشوائب في الرمل في مقاومة وديمومة المونة الإسمنتية

2- عرض التقنية المقترحة لفصل الشوائب عن الرمل مخبرياً مع عرض نتائج تطبيق العمل مخبريا.

أولاً: دراسة تأثير الشوائب الغضارية في المقاومة الميكانيكية للمونة الإسمنتية.

تعمل الشوائب عادة على الإقلال من كفاءة المونة والبيتون إذ تلعب دوراً سلبياً في ترابط الملاط الإسمنتي مع الحصويات (رمل-بحص) وهي تؤثر عموماً في نقصان المقاومة الميكانيكية وغيرها من مواصفات البيتون كزيادة نفاذيته والتأثير في ديمومته ومقاومته لعوامل الزمن.

لإنجاز هذه الدراسة التي تهدف إلى إعطاء نتائج عملية وأرقام دقيقة عن تأثير الشوائب في جودة البيتون احتاج العمل لأصناف من الرمال بدرجات متفاوتة من الشوائب وهو الأمر الذي يصعب حصره في الرمال الطبيعية مما استدعى تحضير ذلك مخبرياً.

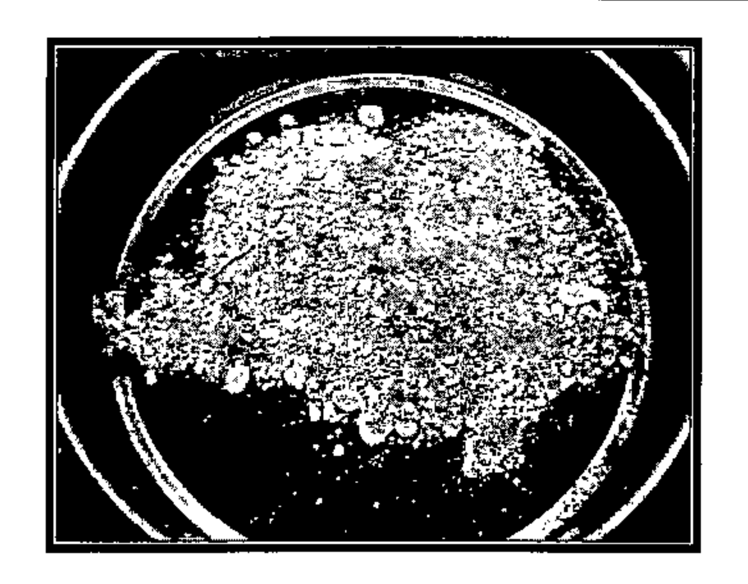
للحصول على أصناف من الرمل بتباعدات محددة لقيم المكافئ الرملي الذي يعد المؤشر الرئيسي على نسبة الشوائب فيه قمنا بتحضير غضار نقي ناعم خاص لخلطه بنسب معينة مع رمال نظيفة للوصول إلى قيم محددة للمكافئ الرملي SE وفق درجة إضافة الغضار.

نعرض فيما يلي الآلية التي تم فيها تحضير عينات الرمل والتي تختلف فيما بينها بقيم المكافئ الرملي.

1- تحضير الغضار:

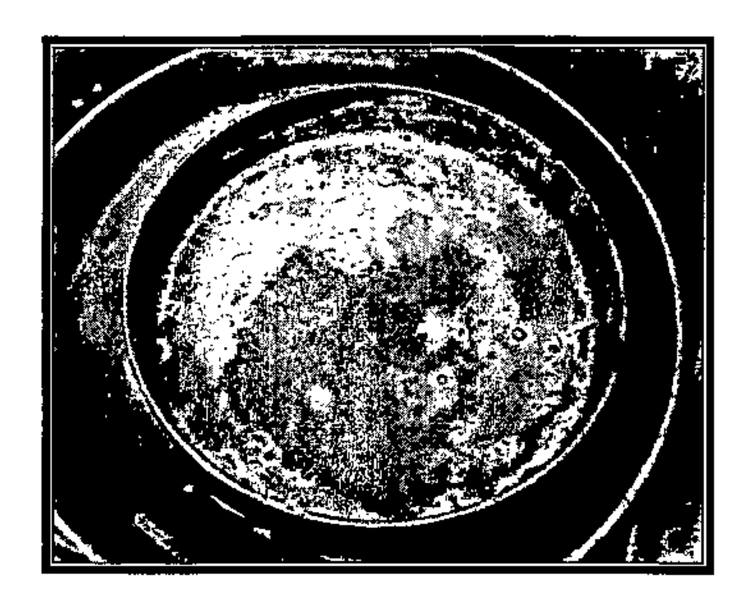
تم ذلك من خلال إحضار تربة غضارية كلسية إلى مخابرنا وغسلها على المنخل رقم 200 (D=75μm) ثم تجفيف نواتج الغسل (المار من المنخل رقم 200)في فرن بدرجة حرارة 105^0C لمدة كافية ثم طحن الناتج الجاف من الغضار للحصول على مادة غضارية ناعمة يمكن إضافتها بنسب محددة إلى الرمال لتغيير قيمة SE وفق المطلوب.

تبين الصور التالية مراحل الحصول على الغضار اللازم بدءاً بالطحن الأولي للتربة مروراً بغسلها على المنخل (رقم 200) ثم تجميع نواتج الغسل ووضعها في الفرن انتهاءً بطحن نواتج التجفيف للحصول على الغضار الناعم المطلوب.



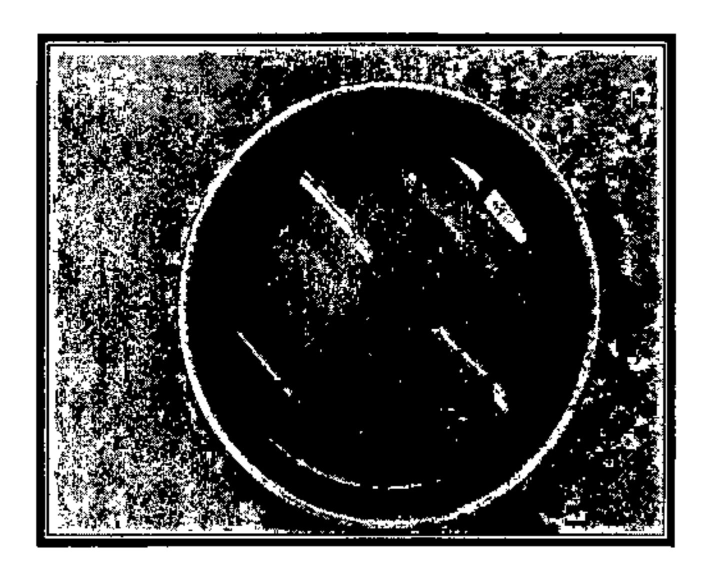
الشكل (3-1)

التربة قبل الغسل على المنخل(رقم 200)



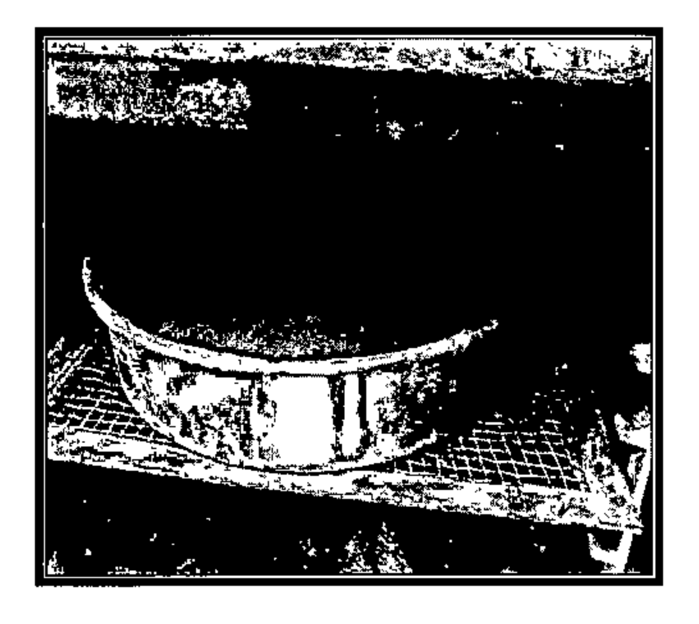
الشكل (3-2)

عملية غسل التربة على المنخل رقم 200



الشكل (3-3)

نواتج غسل التربة



الشكل (3-4)

وضع نواتج الغسل في الفرن



الشكل (3-5)

نواتج الغسل بعد التجفيف والطحن

2-إضافة الغضار إلى الرمل:

تم ذلك باستخدام رمل جاف بقيمة مكافئ رملي محددة ومن ثم إضافة الغضار بنسب وزنية ثابتة ومتزايدة لدراسة تأثر قيم المكافئ الرملي بنسبة الغضار المضافة.

يبين الجدول (3-1) النتائج الأولية لإضافة الغضار إلى الرمل التي تم إعدادها للوقوف على مدى تأثر قيمة المكافئ الرملي باستخدام تقنية إضافة الغضار المحضر مخبرياً:

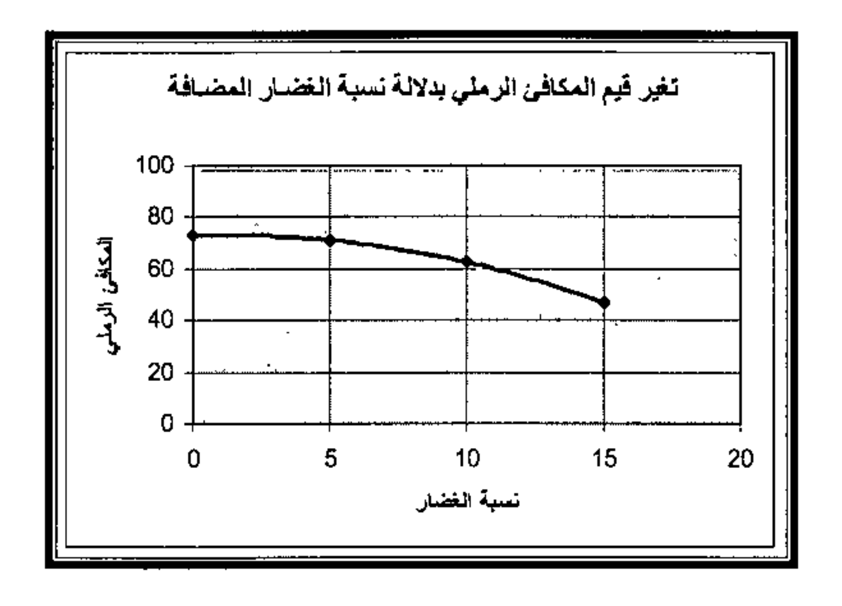
نسبة الغضار المضافة كنسبة مئوية من وزن الرمل%	قيمة المكافئ الرملي %
0	73
5	70.6
10	62.7
15	46.7

الجدول (3-1)

تغير قيم المكافئ الرملي بدلالة نسبة الغضار المضافة

تظهر النتائج الأولية للاختبارات أنه بالإمكان الاعتماد على إضافة الغضار مخبرياً لتغيير قيمة المكافئ الرملي بشكل واضح.

أما المنحني (3-6) فيبين العلاقة غير الخطية لتغير قيم المكافئ الرملي بدلالة نسبة الغضار المضافة إلى الرمل.



الشكل (3-6)

3- تحضير عينات المونة وقياس مقاوماتها:

بعد التحقق من نجاح هذه التقنية (إضافة الغضار المحضر مخبرياً إلى الرمل) تم غسل كمية كافية من الرمل موضوع الدراسة على المنخل رقم 200 للوصول إلى قيمة عالية للمكافئ الرملي بلغت (SE=95) ثم إضافة الغضار المحضر مخبرياً بنسب متفاوتة تسمح بالانتقال من القيمة (SE=95.5) إلى القيمة (SE=55.76) مروراً بخمس نسب للغضار.

حضرت بعد ذلك عينات من المونة الإسمنتية مستخدمين لهذا الغرض الرمل بقيمه المختلفة للمكافئ الرملي وبنسب الخلط الآتية:

المادة	الوزن g
إسمنت	450
ماء	248
رمل	1350
نسبة الماء للاسمنت w/c=0.55	

الجدول (3-2)

نسب خلط المواد المكونة للمونة الإسمنتية

بعد صب العينات بالأبعاد cm (16*4*4) وفك القوالب بعد (24) ساعة من صبها وحفظها في الماء حتى العمر (28) يوماً تم القيام بإخراجها من ماء الحفظ وتنشيفها لإجراء أول الاختبارات عليها:

- يتلخص الاختبار الأول بحساب قيم المقاومة على الشد بالانعطاف والمقاومة على الضغط البسيط للعينات.
- يعرض الجدولان الآتيان (3-3) و (3-4) النتائج التي تم الحصول عليها لخمسة أصناف من الرمل تختلف فيما بينها بقيم المكافئ الرملي:

معامل التغير Cv	الانحراف المعياري σ	المقاومة على الشد بالانعطاف Kg/cm2	المكافئ الرملي %
2	**1.47**	**84.93**	**55.76**
3	**2.5**	**83.8**	**68.2**
0.73	**0.62**	**84.4**	**74**
2.5	**1.95**	**81.8**	**84**
1	**0.93**	**76.7**	**95.5**

الجدول (3-3)

تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)

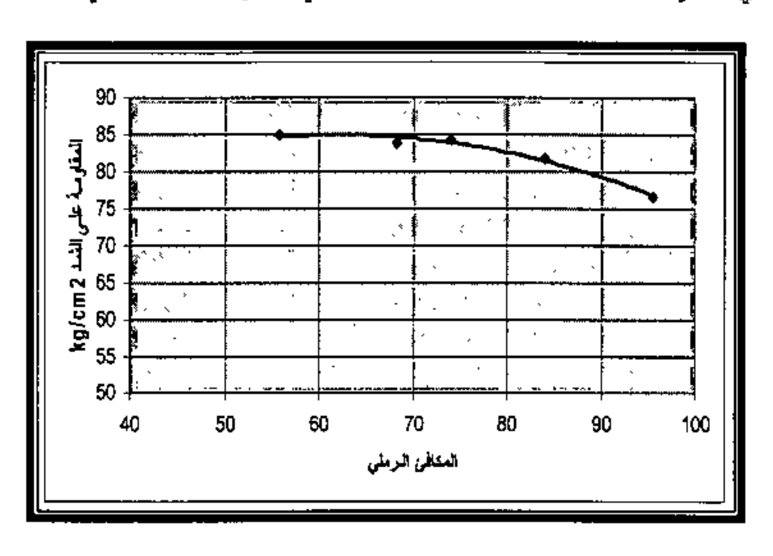
معامل التغير C_v	الانحراف المعياري σ	المقاومة على الضغط البسيط Kg/cm^2	المكافئ الرملي %
0.6	**2.3**	**383.12**	**55.76**
0.7	**2.7**	**372.5**	**68.2**
1	**3.5**	**321.6**	**74**
0.9	**3.1**	**338.7**	**84**
0.7	**2.3**	**316.56**	**95.5**

الجدول (3-4)

تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)

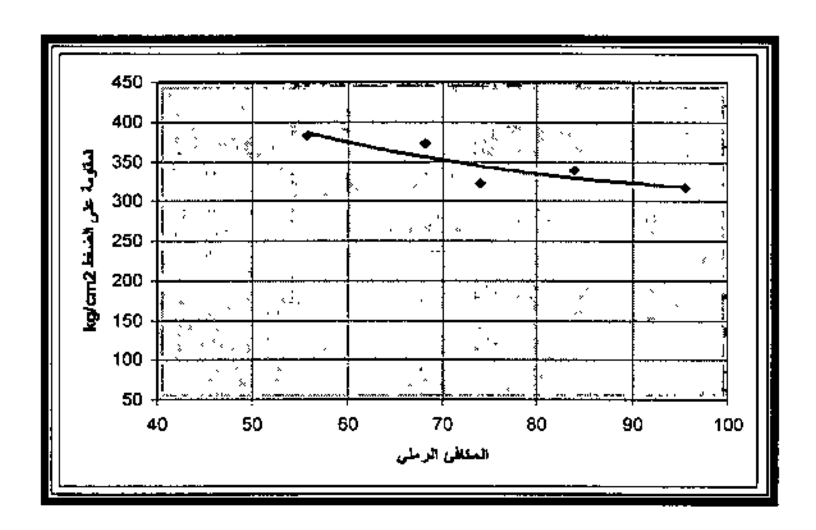
بالتالي كان المنحني الذي يربط المقاومة بالمكافئ الرملي على الشكل الآتي:



الشكل (3-7)

تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)



الشكل (3-8)

تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)

كان من المتوقع أن تعطي النتائج الأولية انخفاضاً لقيم مقاومــات الضــغط البســيط والشــد بالانعطاف على السواء عند هبوط قيم المكافئ الرملي.

أما النتائج فقد جاءت مخالفة لهذه التوقعات.

لإيجاد تفسير علمي لهذه الظاهرة كان لابد من إجراء تحليل كيميائي للغضار المحضر مخبرياً والشوائب الموجودة فعلياً في الرمل قبل خلطه بالغضار وذلك للوقوف على مدى تطــابق أو اختلاف الشوائب الموجودة في الرمل مع الغضار.

تم القيام لهذا الغرض بغسل كمية كافية من الرمال على المنخل (رقم 200) وتجفيف نــواتج الغسل في فرن بدرجة حرارة ($105\ ^0C$) وطحن هذه النواتج لإجراء تحليل كيميائي لها مــع الغضار المحضر مخبرياً في مخابر قسم الكيمياء في كلية العلوم بجامعة تشرين.

نبين فيما يلي التحليل الكيميائي ونسب الأكاسيد المعدنية الموجودة في:

- الشوائب المستخلصة من غسل الرمل على المنخل (رقم 200).
- الغضار المستخلص من غسل التربة على المنخل (رقم 200).

4- نتائج التحليل الكيميائي:

جاءت نتائج التحليل الكيميائي على الشكل الآتي:

المادة	ناتج غسل الرمل	ناتج غسل التربة
سيليس	% 46	% 6.5
كربونات الكالسيوم	% 43.75	% 90
رطوبة وماء تبلور	% 5	% 2.6
أكاسيد	% 2.5	% 1
مواد عضوية (الذبال)	% 2.75	مهملة

الجدول (3-5)

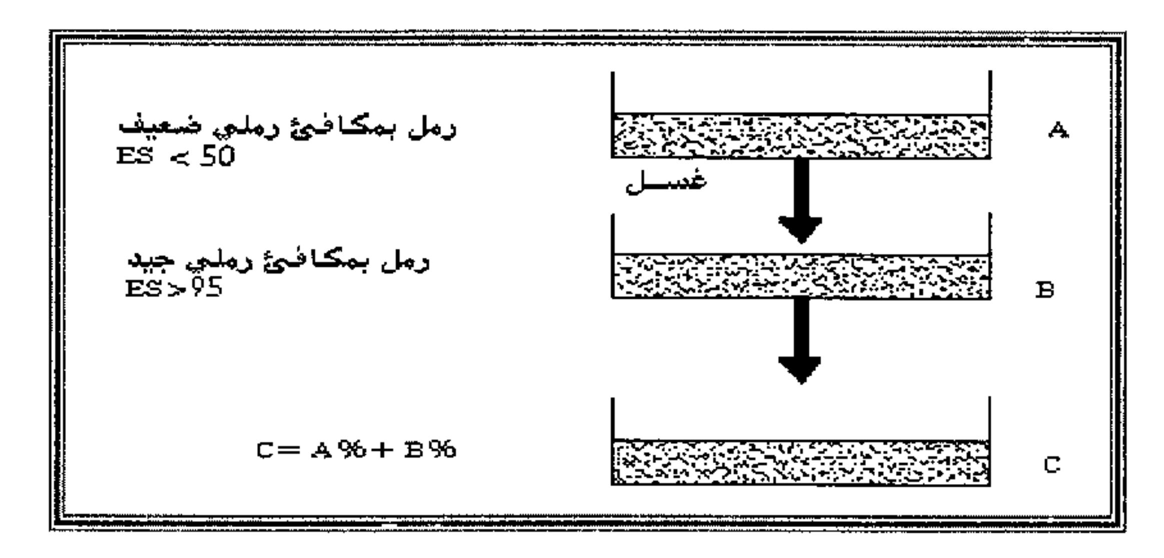
نتائج التحليل الكيميائي

يبدو من نتائج التحليل أن نواتج غسل التربة والتي أضيفت إلى الرمل كغضار والتي أثرت إضافتها إلى الرمل برفع قيم المقاومات على الشد والضغط خالية من المواد العضوية في حين أن المواد التي نتجت عن غسل الرمل احتوت على نسبة لا بأس بها من المواد العضوية (2.75 %) مما يجعلنا نستنتج أن سبب ضعف المقاومة في العينات التي صنعت من رمل غير مغسول هو وجود هذه المواد العضوية في الرمل.

كذلك وجد أن نسبة السيليس في المواد الناتجة عن غسل الرمل مرتفعة نسبياً مقارنة مع نسبتها في نواتج غسل التربة مما يدل على أن هناك كمية من الرمل أقطارها أقل مـــن (µm75) أي أنها تمر من المنخل (رقم 200).

5- تحضير الرمل مخبرياً بدون إضافة الغضار:

- تم اللجوء إلى طريقة أخرى تم الاستغناء فيها عن إضافة أية مادة إلى الرمل إذ تبين لنا أن المواد التي أضيفت إلى الرمل بوصفها غضاراً كانت سبباً في زيادة مقاومة عينـــات المونـــة الإسمنتية لذلك قمنا بصناعة عينات جديدة من المونة باستخدام رمل مغســـول (بقيمـــة عليـــا لـــSE) وأخرى باستخدام رمل قبل الغسل (بقيمة منخفضة لـــ SE) وتم خلـــط نســـب مـــن النوعين حتى حصلنا على خمس قيم للمكافئ الرملي دون أيـــة مـــواد إضـــافية.(كالغضـــار المحضر مخبرياً).كما في الشكل الآتي:



الشكل (3-9)

تحضير الرمل مخبرياً دون إضافة الغضار

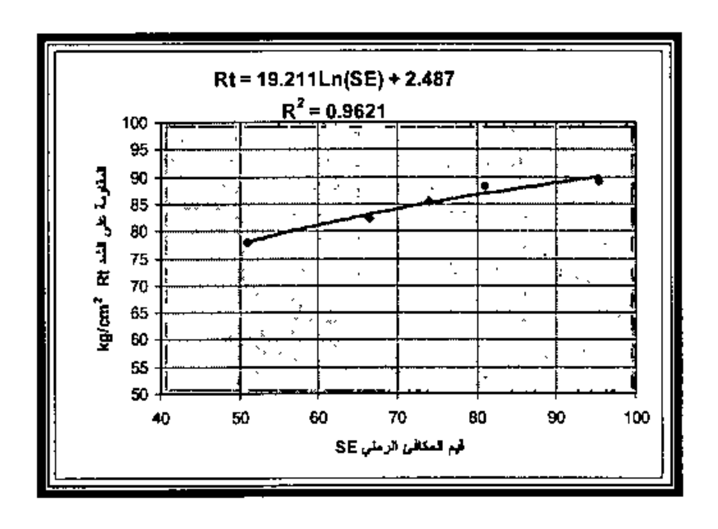
أعطت هذه العملية أصناف من الرمل بقيم مختلفة للمكافئ الرملي بين (51-95).

يعرض الجدولان الآتيان (3-6) و (3-7) النتائج التي حصلنا عليها لخمسة أصناف من الرمل تختلف فيما بينها بقيم المكافئ الرملي:

قيم المكافئ الرملي %	المقاومة للشد بالانعطاف Kg/cm^2	الانحراف المعياري σ	معامل التغير C_v
51	78	2.1	3
66.5	82.4	3.1	4
74	85.35	3.5	4
81	88.3	1.7	2
95.3	89.2	1.3	1

الجدول (3-6)

تغير قيم المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي



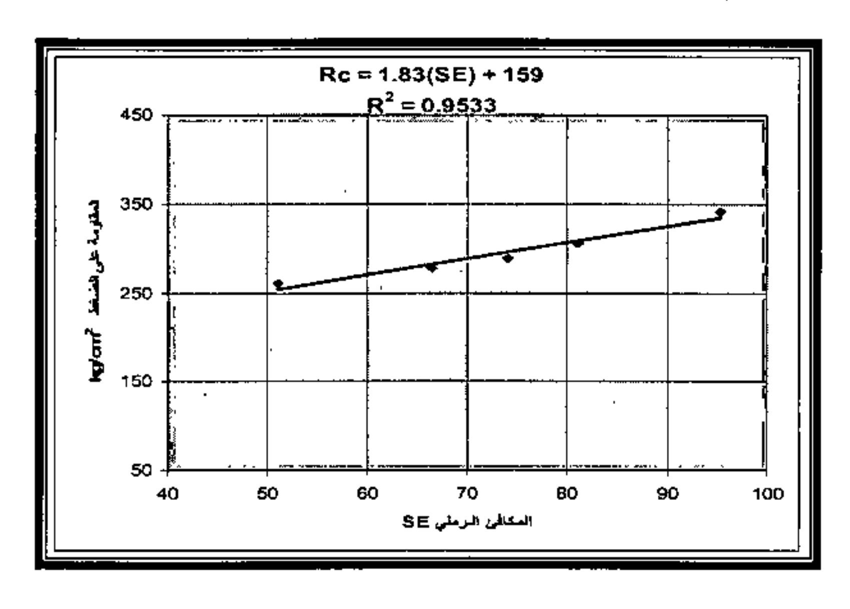
الشكل (3-11)

تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي

معامل التغير C_v	الانحراف المعياري σ	المقاومة على الضغط البسيط Kg/cm^2	المكافئ الرملي%
0.4	1.1	260	51
0.4	1.2	276.87	66.5
0.1	0.3	288	74
0.2	0.5	305	81
0.05	0.2	341.25	95.3

الجدول (3-7)

تغير قيم المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي



الشكل (3-10)

تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكافئ الرملي

ثانياً: دراسة تأثير الغضار في نفاذية وكتامة المونة الإسمنتية :

بعد دراسة تأثير الشوائب الغضارية الموجودة في الرمل على قيم المقاومات على الضغط البسيط والشد بالانعطاف، أجري بحث تجريبي للوقوف على تأثير هذه الشوائب في ديمومة المونة الإسمنتية.

تتبع ديمومة المونة أو البيتون لعوامل عدة أهمها :

- **النفاذية:** تؤثر النفاذية بشكل مباشر على ديمومة البيتون إذ تعمل العناصر المخربة الغازية أو السائلة عند نفاذها إلى بنية المادة على التقليل من عمرها المجدي والتأثير سلباً على ديمومتها، فالنفاذية للغازات مثلاً قد تسمح بتغلغل غاز CO_2 وبخار الماء إلى هذه البنية مما سيؤدي إلى حدوث الكربنة والتي تنقص بدورها من مقاومة البيتون وديمومته.

كما يؤثر نفاذ الكلوريدات والكبريتات وغيرها من المحاليل الضارة إلى بنية البيتون في مقاومته وديمومته.

- **التشرب الأعظمي بالماء:** تدل قيمة التشرب الأعظمي بالماء على الفراغات الموجودة في بنية المونة الإسمنتية أو البيتون التي ستكون مرتعاً للمياه أو المحاليل المخربة التي تؤثر بدورها على مقاومة وديمومة المونة مع الزمن.

تتناسب قيم المقاومة عكساً مع قيمة المسامية أو التشرب الأعظمي بالماء لذلك تعتبر القيم المرتفعة للتشرب هامة ويجب الوقوف عندها لضمان عدم تأثر ديمومة البيتون مستقبلاً.

لذلك تم التركيز في البحث على استقصاء هذين المؤشرين للوقوف على ديمومة وإعطاء تصور أولي لتأثر الديمومة بشوائب الرمل.

1-اختبارات النفاذية على المونة الإسمنتية:

أجري لهذا الغرض اختبار النفاذية بشكله البسيط دون ضغط داخلي وبارتفاع عمود ماء ثابت (50سم).

على عينات من المونة الإسمنتية مختلفة في تركيبها بقيم المكافئ الرملي للرمل الداخل في صناعتها.

تم ذلك على عينات تجاوز عمرها (28) يوماً وفق المراحل الآتية:

1- تحضير سطح العينة جيداً بإزالة النتوءات والشوائب الخارجية عنه.

2- تثبيت أنبوب مصنوع من البولي إيتيلين بقطر خارجي أقل من عرض العينة على سطح العينة بشكل شاقولي باستخدام مواد لاصقة من الخارج لضمان عدم حدث التسرب من خلال منطقة الالتصاق ولتأمين نفاذية المياه من خلال مقطع الأنبوب الملامس لسطح العينة فقط.

3- وضع العينات مع أنابيب البولي إيتلين الملصقة عليها على سطح أفقي ضمن حجرة بحرارة ورطوبة ثابتتين.

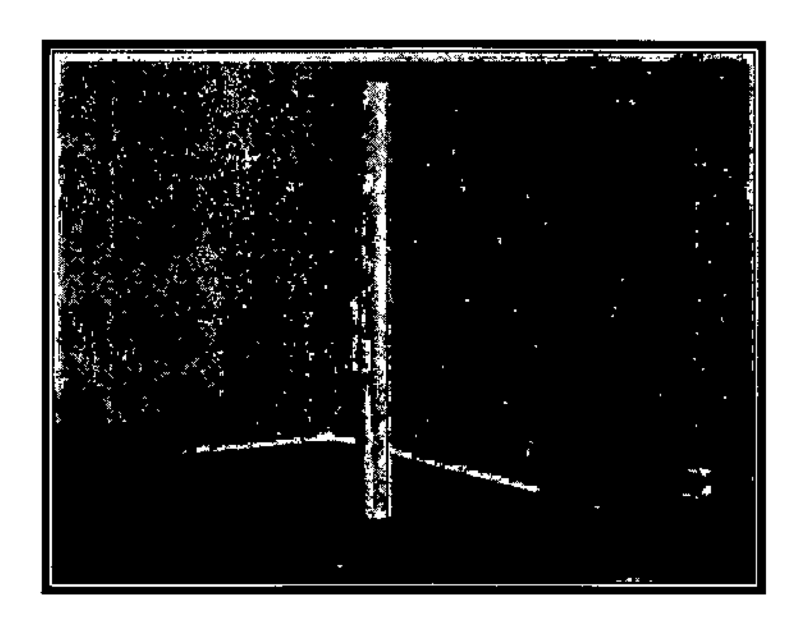
4- ملء الأنابيب بالماء إلى حد معين يؤمن ارتفاع ثابت لعمود الماء على جميع العينات قدره h=50cm.

تركت العينات تحت تأثير نفوذ الماء لفترة من الزمن تسمح بقياس عمق التسرب بحيث لا يتجاوز هذا العمق (4cm) والذي يمثل الطول الأقصى للتسرب (سماكة العينة).

ولتحديد الزمن اللازم لهذا الاختبار قمنا بإجراء بعض الاختبارات الأولية لأخذ فكرة عن الزمن اللازم لحدوث التسرب للعمق الكلي.

وجد بعدها أن (10) ساعات تكفي لحدوث تسرب بعمق (cm4>d>0.5).

يبين الشكل (3−12) عينة من المونة الإسمنتية ثبت عليها أنبوب الماء بشكل شاقولي دون حصول أي تسرب خارجي.

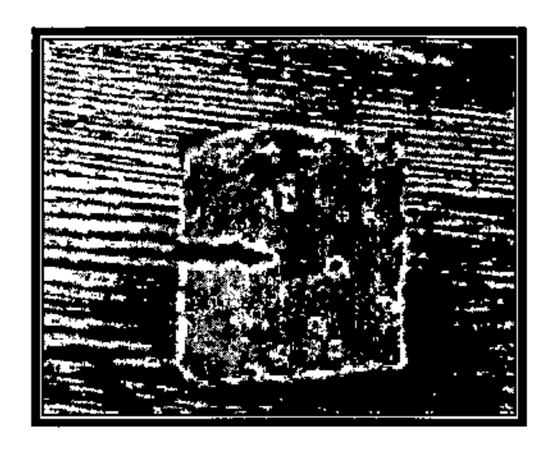


الشكل (3−12)

اختبـــار النفاذيـــة

أجري هذا الاختبار على سلسلتين من تراكيب المونة الإسمنتية تتغير قيم المكافئ الرملي في كل سلسلة من (50-95) وتختلف السلسلة الأولى عن الثانية بزمن التسرب.

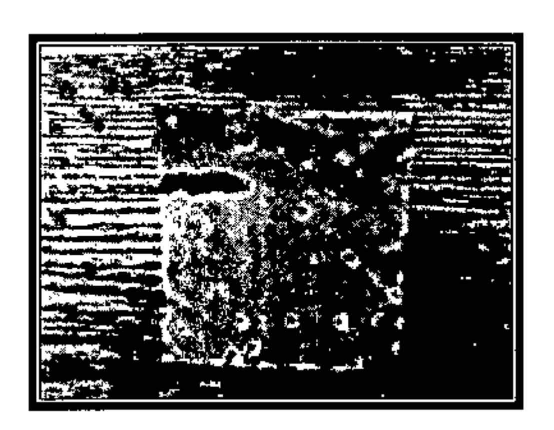
بعد الانتهاء من كل تجربة كانت العينات تكسر في منطقة التسرب لمراقبة حد الماء ضمن مقطع العينة والذي يظهر بوضوح في الأشكال الآتية:



الشكل (3-13)

مقدار اختراق الماء للعينة cm1.7

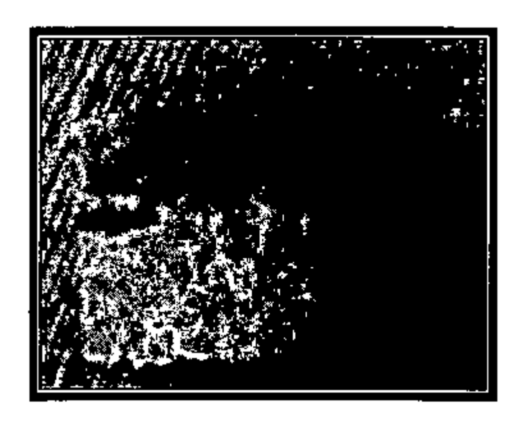
المكافئ الرملي51=SE



الشكل (3-14)

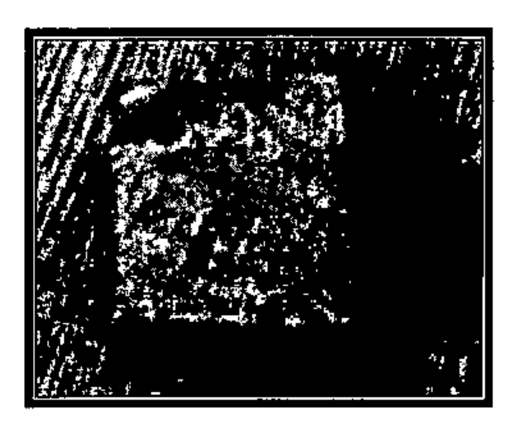
مقدار اختراق الماء للعينة 1cm

SE=66.5



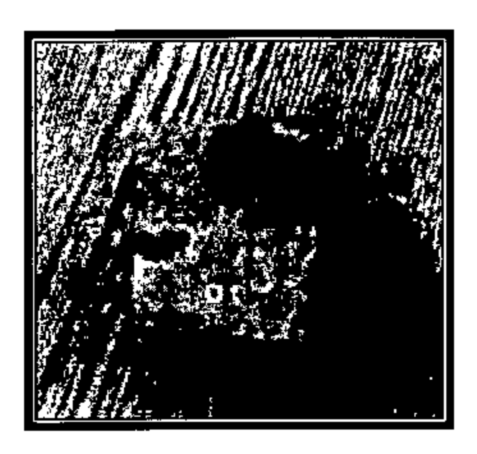
الشكل (3-15)

مقدار اختراق الماء للعينة 1.2 cm (SE=81)



الشكل (3-16)

مقدار اختراق الماء للعينة 0.8cm (SE=74)



الشكل (3-17)

مقدار اختراق الماء للعينة 2.5 cm (SE=95.3)

بعد كسر العينات كانت تتم عملية قياس عمق التسرب على طول خط التسرب ليتم بعدها اعتماد القيمة الوسطية لهذا العمق والذي يسمح بحساب معامل النفاذية مقدراً بـــ cm/h وفقاً لمدة التجربة المعتمدة.

تبين الجداول (3-8) و (3-9) والمخططات (3-18) و (3-19) تغير قيم التسرب بدلالة قيم المكافئ الرملي.

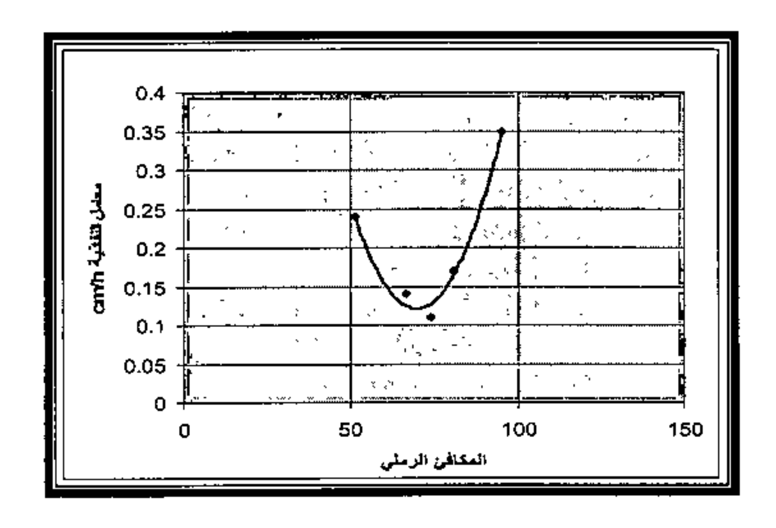
تدل كل قيمة مدونة في الجدول أو كل نقطة ممثلة على المنحنيات على وسطي التســرب لثلاث عينات والتي كانت تعطي نتائج متماثلة تدل عليها قيمة معامل التغير CV الذي تم حسابه لكل مجموعة من ثلاث عينات من المونة الإسمنتية.

والجدير بالذكر أن هذا الاختبار غير معتمد في أي من المواصفات القياسية العالمية بل تم اقتراحه من قبل الدكتور المشرف ونفذ في مخبر تجريب المواد في الكلية وذلك نظراً لعدم توفر جهاز قياس معامل النفاذية في المخبر.

قياس معامل النفاذية على عينات من المونة الإسمنتية مصنوعة برمال مختلفة فيما بينها بقيمة SE. (زمن التسرب 7 ساعات)

المدة 7 ساعات			
المكافئ الرملي	مقدار الاختراق (cm)	عامل النفاذية (cm/h)	معامل التغير % CV
51	1.7	0.24	1
66.5	1	0.14	2
74	0.8	0.11	1
81	1.2	0.17	0.9
95.3	2.5	0.35	1.5

الجدول (3-8)



الشكل (3-18)

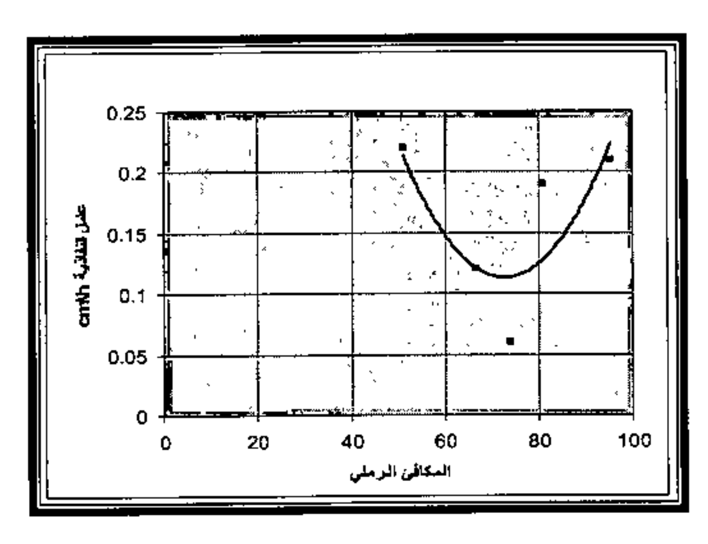
تغير قيم معامل النفاذية للمونة الإسمنتية بدلالة قيم المكافئ الرملي

(زمن التسرب 7 ساعات)

قياس معامل النفاذية على عينات من المونة الإسمنتية مصنوعة برمال مختلفة فيما بينها بقيمة SE. (زمن التسرب 10ساعات)

المدة 10 ساعات			
المكافئ الرملي	مقدار الاختراق (cm)	عامل النفاذية (cm/h)	معامل التغير %CV
51	2.2	0.22	2
66.5	1.2	0.12	1
74	0.6	0.06	1
81	2	0.2	1
95.3	1.9	0.19	0.9

الجدول (3-9)



الشكل (3-19)

تغير قيم معامل النفاذية للمونة الإسمنتية بدلالة قيم المكافئ الرملي

(زمن التسرب 10 ساعات)

2-اختبار التشرب ونتائجه:

لقياس درجة التشرب لعينات المونة الإسمنتية تم تحضير مجموعة من العينات مختلفة فيما بينها بقيم المكافئ الرملي للرمل الداخل في تحضيرها تتراوح قيم المكافئ الرملي بين(50-95).

جففت عينات المونة في الفرن لمدة (24) ساعة بدرجة حرارة (105^0C) حيث وضعت هذه العينات داخل الفرن على شبك معدني يسمح بخروج المياه بشكل متجانس من خلال سطوح العينات.

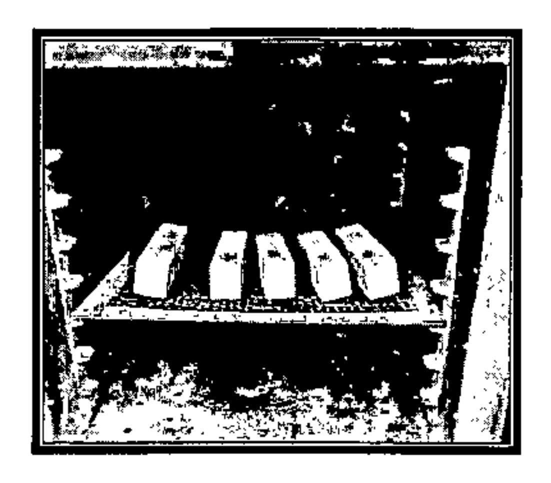
بعد التجفيف تم وزن العينات جافة ثم غمرت العينات في الماء لمدة (24) ساعة بعد إخراجها من الماء جففت العينات بقطعة قماش مبللة ثم وزنت ثانية بعد ذلك تم حساب وزن الماء الذي امتصته العينات على الشكل الآتي:

وزن الماء = (وزن العينات الرطبة- وزن العينات الجافة)

ونسب وزن الماء إلى وزنها جافة فكانت هذه النسبة هي القيمة التي تعبر عن درجة تشرب هذه العينات.

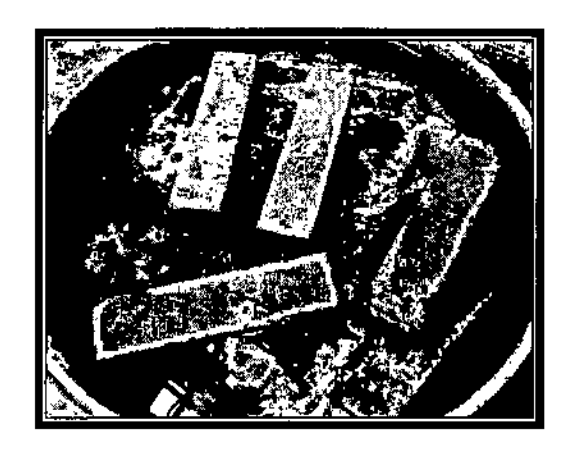
درجة التشرب = (وزن الماء) / وزن العينات الجافة

تبين الصور الآتية مراحل إجراء اختبار التشرب:



الشكل (3-20)

تجفيف العينات في الفرن



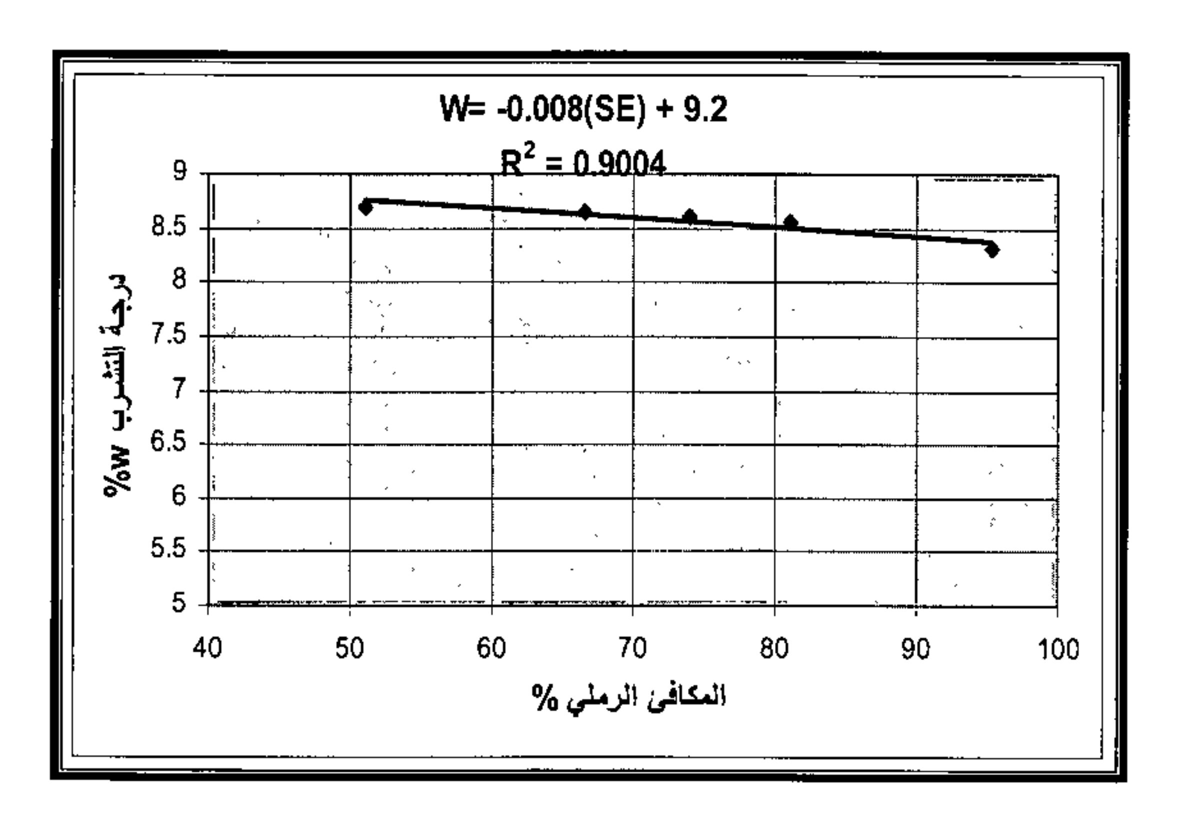
الشكل (3-21)

غمر العينات في الماء

قياس درجة التشرب الأعظمي بالماء لعينات المونة الإسمنتية مصنوعة برمال مختلفة في قيم المكافئ الرملي

المكافئ الرملي	الوزن الجاف g	الوزن الرطب g	وزن الماء g	درجة التشرب%	القيمة الوسطية%	الانحراف المعياري σ	معامل التغير % C_v
51	525	571	46	8.76	8.7	0.09	1
	529	574.5	45.5	8.6			
	514	559	45	8.7			
66.5	506	550	44	8.69	8.65	0.09	1
	499	542	43	8.6			
	497.5	540.5	43	8.65			
74	514	559	45	8.75	8.6	0.12	1
	517	561	44	805			
	516.5	561	44.5	8.6			
81	503.5	547	43.5	8.63	8.55	0.11	1
	512.5	556	43.5	8.5			
	509.5	553.5	44	8.6			
95.3	520.5	564	43.5	8.35	8.32	0.12	1
	523	566	43	8.2			
	521	565	44	8.4			

الجدول (3-10)



الشكل (3-22)

تغير درجة التشرب لعينات المونة الإسمنتية بدلالة قيم المكافئ الرملي

ثالثاً: اقتراح تقنية عملية لتخليص الرمل من الشوائب:

تم الاعتماد في التقنية المقترحة على بعض المبادئ الأساسية في قوانين الفيزياء والتي تتلخص بتفسير حادثة التذرية .

فعند تسليط تيار هوائي على رمل متساقط يحوي ذرات من الشوائب بوزن نوعي أقل من الوزن النوعي للرمل، سيحمل هذا التيار المواد الأكثر خفة إلى مسافة أبعد من الرمل.

سينتج عن ذلك حدوث فصل أولي للشوائب عن الرمل بفعالية نسبية مختلفة تتعلق بـ:

1- طبيعة وخصائص الشوائب التي يحويها الرمل.

2- درجة التصاق هذه الشوائب بالرمل.

3- شدة التيار الهوائي المسلط.

استخدم القدماء هذه التقنية في أعمالهم المختلفة وخصوصاً الأعمال الزراعية وتستخدم إلى الآن عملية تذرية القمح إما لفصل حبات القمح عن الحصيات الموجودة فيه أو لفصل القشور عن حبات القمح.

كما تستخدم هذه التقنية لفصل أوراق الزيتون عن ثماره بعد جنيها.

1- وصف التقنية المقترحة:

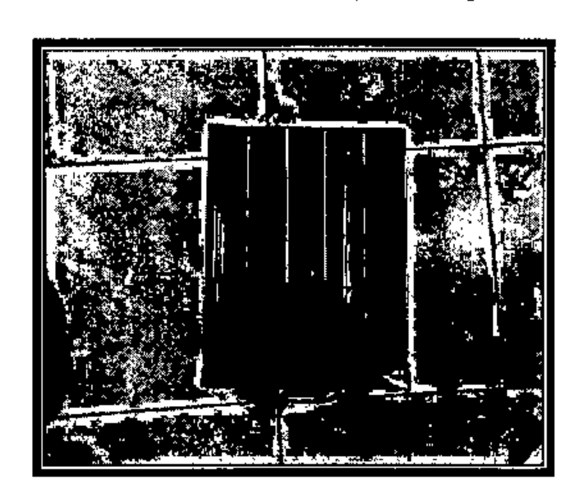
تمت وفق تصور عملي أولي لتقنية التنظيف صناعة نموذج مصغر لجهاز يقوم بتخليص الرمل من شوائبه بنسبة معينة وفقاً لمعطيات مختلفة.

يتألف النموذج من:

1- قمع معدني على شكل جذع هرم مقلوب يستقبل الرمل المراد تخليصه من الشوائب.

2- نظام لتسليط تيار هوائي بسرعات مختلفة على الرمل المتدفق من أسفل جذع الهرم.

3- حوض استقبال للرمل بعد تسليط التيار الهوائي عليه مقسم إلى حجرات مختلفة في بعدها عن المصدر الهوائي الشكل (3-23).



الشكل (3-23)

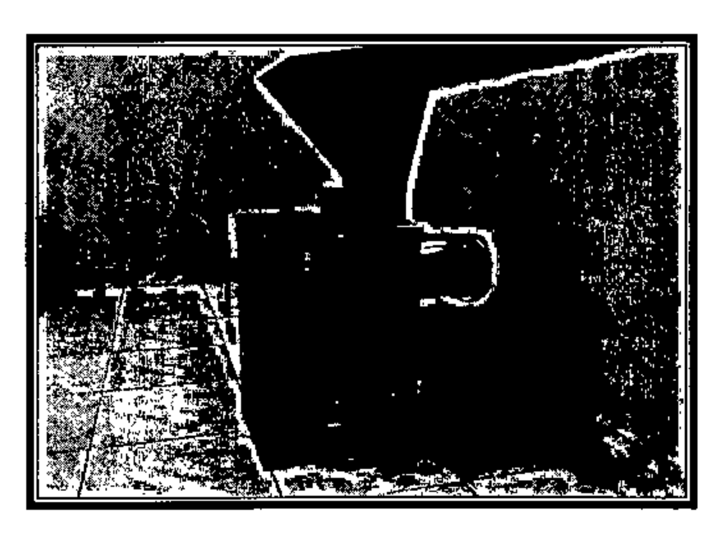
حوض استقبال الرمل

4- نظام حماية على شكل حيز صندوقي يمنع تأثير العوامل الخارجية في عملية التذرية.

يمكن للمصدر الهوائي بتغيير سرعة المحرك إعطاء شدات مختلفة للتيار الهوائي (200-400-600-800-1000) دورة /دقيقة.

زود المصدر الهوائي بآلية تغيير السرعات بهدف قياس المكافئ الرملي الأعظمي للرمل بعد تنقيته عند كل سرعة للوصول إلى سرعة مثالية تعطي أفضل قيمة للمكافئ الرملي.

يبلغ ارتفاع الجهاز حوالي (50)cm وعرضه (30)cm بدون الجزء المخصص لتركيز التيار الهوائي.



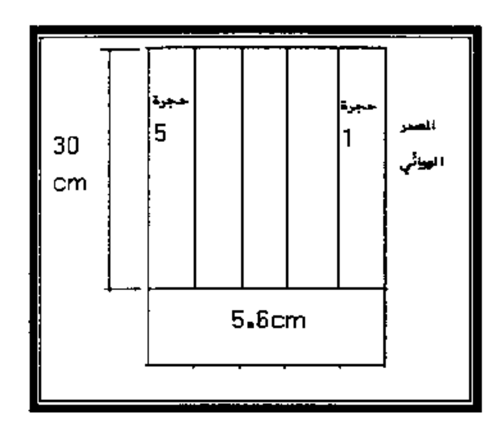
الشكل (3-24)

النموذج المصغر المقترح لتنقية الرمال

2-آلية عمل النموذج:

تتم عملية تخليص الرمل من الشوائب باستخدام هذا النموذج بإسقاط الرمل بغزارة ثابتة بمعدل (2 kg/min) ثم استقبالها بعد مرورها عبر التيار الهوائي في حجرات الاستقبال ضمن الحوض السفلي.الشكل (3-25)

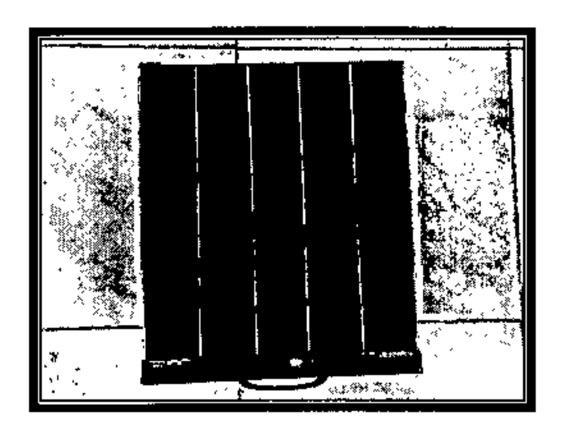
ستكون كمية الرمل بشكل منطقي أكبر في الحجرة القريبة من المصـــدر الهـــوائي مقارنـــة بالحجرات البعيدة والتي تحوي رمال بشوائب أكبر وبمكافئ رملي أقل.



الشكل (3-25)

أبعاد حوض استقبال الرمل

تتركز غالباً الكمية الأكبر من الرمل (80-85)% في الحجرتين الأولى والثانية (الأقرب إلى المصدر الهوائي) من حوض الاستقبال أي على بعد أقصاه (12cm) من المصدر الهوائي.
أما الحجرات الثلاث الباقية فلا تتجاوز نسبة الرمل الساقط فيها في أغلب الأحوال الـــ(15) **%** من الكمية المارة عبر القمع.



الشكل (3-26)

وعاء استقبال الرمل

يبين الشكل (3-26) توزع كمية الرمل في الحجرات الخمس مع الإشارة إلى أن الحجرة الأخيرة تحوي كمية قليلة جداً من الرمال وبنسبة شوائب كبيرة ينخفض معها المكافئ الرملي إلى ما دون (40).

3-معالجة الرمل قبل التنظيف:

بعد إجراء تحقق أولي تبين أن الرطوبة مهما كانت قيمتها منخفضة ستخفف من فعالية التنقية لذلك تم تجفيف الرمل بشكل كامل قبل إخضاعه لهذه العملية مع الإشارة إلى أنه من الممكن تنفيذ عملية التنقية على رمل برطوبة منخفضة و لكن بفاعلية أقل.

4-اختبار النموذج المصغر:

اختبر النموذج على عينات مختلفة لقياس فاعليته بتغيير معاملاته كشدة التيار الهوائي.

يبين الجدولان (3-12) و (3-13) قيم المكافئ الرملي المحسن للعينات المختبرة في النموذج المصغر تبعاً لبعدها عن المصدر الهوائي وشدة هذا التيار.

تدل القيمة (0) لشدة التيار على وضعه في حالة التوقف متطابقة مع القيمة المرجعية للمكافئ الرملي وهي (SE=61.5).

أما السرعة (200 دورة /دقيقة) فلم تعط نتائج ذات قيمة لذلك تم إهمالها في أثناء التجريب.

قيم العمود الأخير تدل على ندرة كمية الرمل التي حجزت في الحجرة الأخيرة والتي تعذر معها جمع كمية كافية تسمح بقياس المكافئ الرملي.

كما يبين المنحنيان (3-28) و (3-29) تغير قيم المكافئ الرملي بدلالة البعد عن المصدر الهوائي ولسرعات مختلفة لنوعي الرمل.



الشكل (3-27)

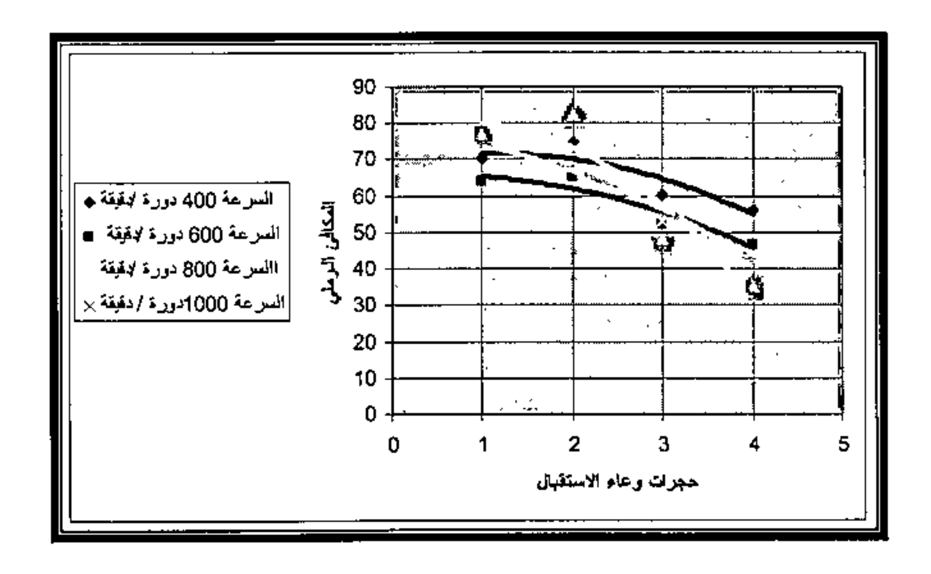
وعاء استقبال الرمل بعد استخدام النموذج

4-1- دراسة تأثير شدة التيار الهوائي والبعد عن المصدر الهوائي في المكافئ الرملي:

نظراً لكون السرعة (200) لم تعط نتائج ذات قيمة لذلك لم تجرب هذه السرعة وابتدأنا بالسرعة (400).

شدة التيار الهوائي دورة /الدقيقة	المكافئ الرملي %				
	حجرة 1	حجرة 2	حجرة 3	حجرة 4	حجرة 5
0	61.5				
400	70	74.5	60.3	56.4	تعذر
600	64	65.4	52.1	47	تعذر
800	77	82.3	48.2	35	تعذر
1000	72.9	70.06	53	43.5	تعذر

الجدول (3-11)



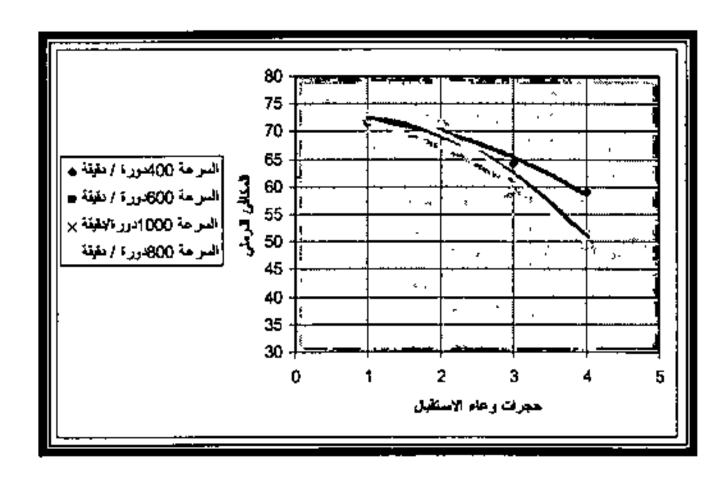
الشكل (3-28)

تغير المكافئ الرملي بدلالة البعد عن المصدر الهوائي وشدة التيار الهوائي

وعند استعمال نوع آخر من الرمل كانت لدينا النتائج التالية:

شدة التيار الهوائي دورة /دقيقة	المكافئ الرملي %				
	حجرة 1	حجرة 2	حجرة 3	حجرة 4	حجرة 5
0	65.2				
400	72	71	64.2	59	تعذر
600	71.4	70.1	61.4	51.2	تعذر
800	73	71.4	60	50.1	تعذر
1000	70.1	72	55.1	52	تعذر

الجدول (3-12)



الشكل (3-29)

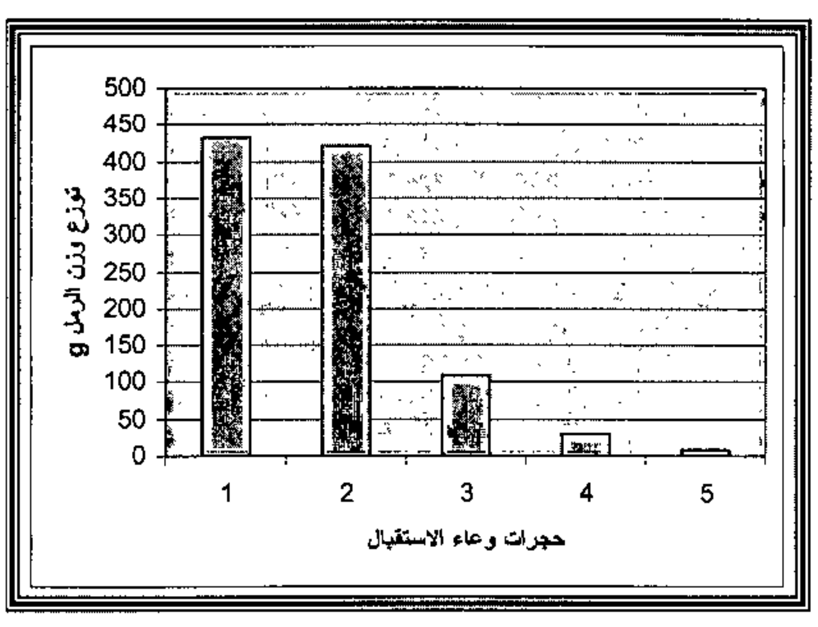
تغير المكافئ الرملي بدلالة البعد عن المصدر الهوائي وشدة التيار الهوائي

4-2-حساب مردود النموذج المصغر:

تم الغرض حساب النسبة المئوية الوزنية للرمل في كل حجرة بحسب بعدها عـن المصـدر الهوائي كما قيس المكافئ الرملي لكميات الرمل لمجموعة من الحجرات بشكل منفصل.

يبين المخطط (3-30) توزع كمية الرمل المختبرة ضمن حوض الاستقبال والتي تظهر بنسبة مرتفعة ومتساوية تقريباً في الحجرتين (1-2) مقارنة بالحجرة (3) .

ولحساب المردود نرى أن الكمية التي يمكن الاستفادة منها باستخدام التقنية والمحجوزة فـي الحجرتين (1-2) تتجاوز الـ (85) % مع قيمة موحدة تقريباً للمكافئ الرملي.



الشكل (3-30)

توزع الرمل في حوض الاستقبال

الفصل الثالث

تحليل النتائج واقتراح بعض النماذج الرياضية

الفصل الثالث

تحليل النتائج واقتراح بعض النماذج الرياضية

نعرض في هذا الفصل قراءة وتحليل للنتائج التي حصلنا عليها ضمن المحاور الرئيسية الثلاث الآتية:

1- تأثير الشوائب في مقاومة المونة الإسمنتية.

2- تأثير الشوائب على ديمومة المونة الإسمنتية (النفاذية- التشرب).

3- فعالية التقنية المقترحة وحساب المردود.

أ- تـــأثير الشوائب على مقاومة المونة الإسمنتية:

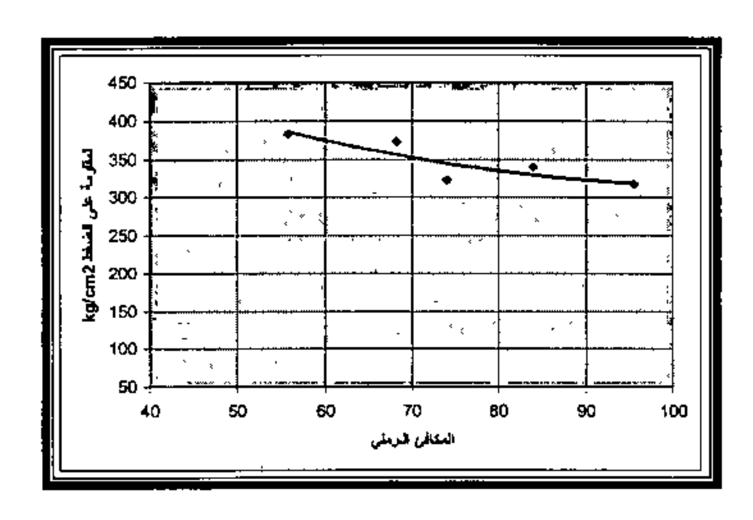
تدل النتائج التي حصل عليها في الفصل الثالث من هذا البحث على تـــأثر مقاومـــة المونـــة الإسمنتية بشكل واضح بنسبة الشوائب الموجودة في الرمل.

يقصد بالمقاومة هنا المقاومة على الشد بالانعطاف أو المقاومة على الضغط البسيط.

وللوقوف رقمياً على هذا التأثر أجري تحليل للنتائج على عينات المونة الإسمنتية التي تمـــت إضافة الغضار لها مخبرياً وعلى العينات الأخرى الطبيعية.

*** تأثر المقاومة بالشوائب المضافة مخبرياً:**

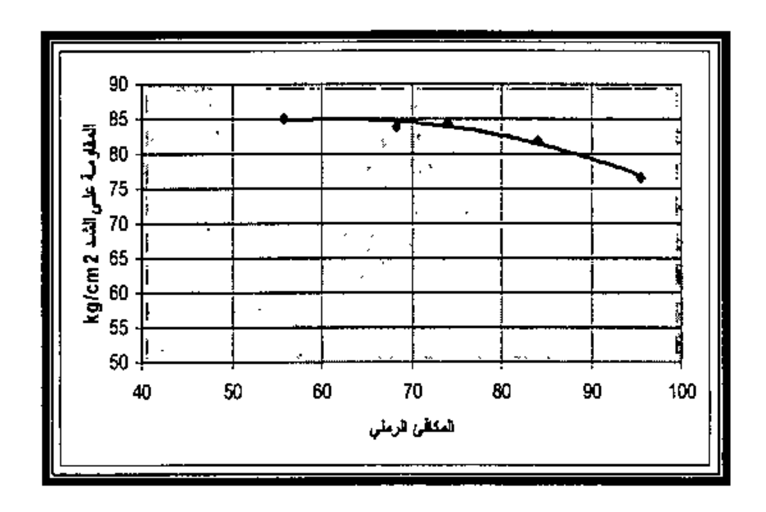
تبين المنحنيات (4-1) و (4-2) تأثير إضافة الغضار إلى الرمل مخبرياً في قيم المقاومة على الشد بالانعطاف والضغط البسيط .



الشكل (4-1)

تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)



الشكل (4-2)

تغير المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي

(عينات من رمل محضرة مخبرياً مع الغضار)

تسلك هذه المنحنيات سلوكاً مخالفاً للتوقعات الأولية إذ لوحظ انخفاض المقاومة بزيـادة قـيم المكافئ الرملي للعينات التي أضيف لها الغضار.

يعزى هذا السلوك بنظرنا إلى أن الإضافات الغضارية التي تم مزجها مع الرمل لخفض قيمة المكافئ الرملي تحتوي على مواد ناعمة مالئة كلسية تشبه في تركيبها الفلر الكلسـي وتخلـو نسبياً من الشوائب العضوية التي تعمل على خفض المقاومة والتي أظهرت التحاليل الكيميائية لها وجودها بنسبة أكبر في نواتج غسل الرمل.

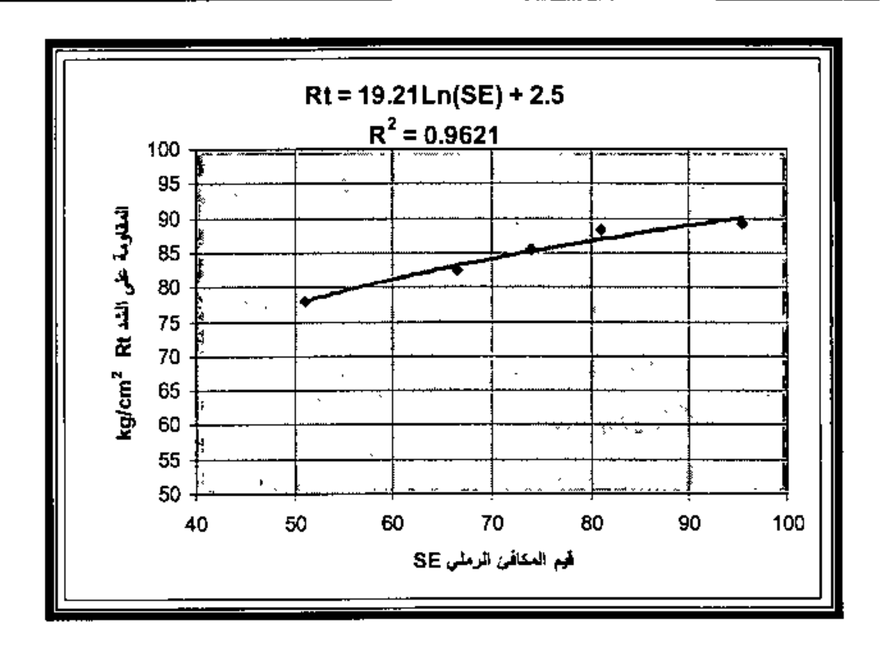
يمكن اعتبار الشوائب الغضارية الناعمة التي أدخلت إلى الرمل بنسبة لم تتجاوز (15)% وزناً كمواد مالئة لعبت دوراً إيجابياً في رفع اكتناز الخلطة وزيادة مقاومتها.

*** تأثير شوائب الرمل الطبيعية على المقاومة الميكانيكية للمونة الإسمنتية:**

كما ذكرنا سابقاً فقد أجريت مجموعة من الاختبارات الميكانيكية لقياس مقاومات عينات مـن المونة الإسمنتية على الشد بالانعطاف والضغط البسيط.

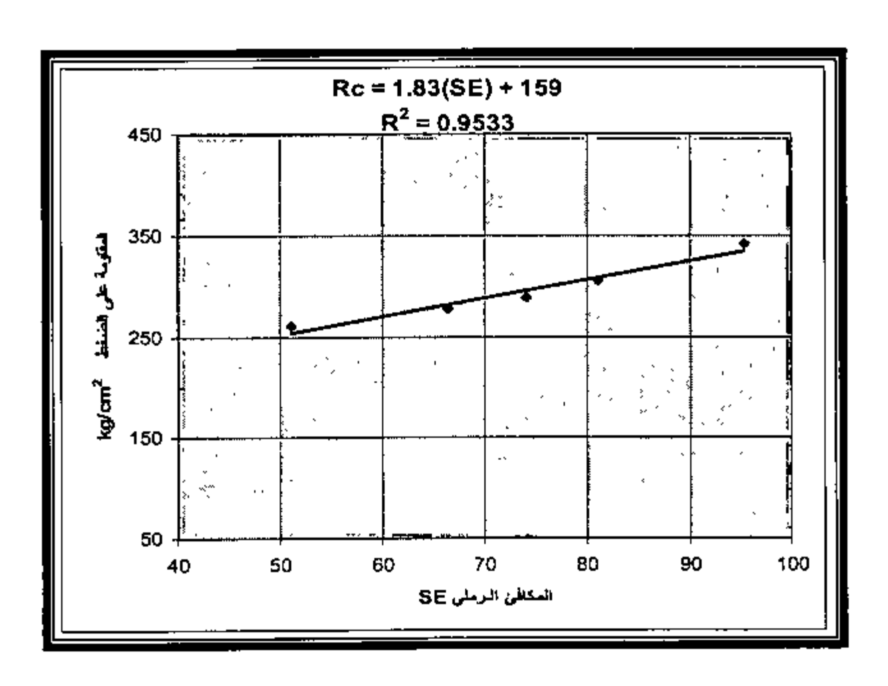
حضرت العينات باستخدام مجموعة نماذج من الرمال بقيم مختلفة للمكـافئ الرملـي تغطـي الشريحة (50-95).

يبين كل من الشكل (4-3) و الشكل (4-4) تغير المقاومات على الشد بالانعطاف والضـغط البسيط للعينات المختبرة بدلالة المكافئ الرملي.



الشكل (4-3)

تغير قيم المقاومة على الشد بالانعطاف بدلالة قيم المكافئ الرملي



الشكل (4-4)

تغير قيم المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكافئ الرملي

وتبدو النتائج مطابقة للتوقعات إذ تزداد هذه القيم باضطراد كلما ازدادت قيم المكافئ الرملي.
ويسلك المنحنيان الخاصان بالشد والضغط سلوكاً متشابهاً تزداد معه قيم المقاومة (من 78 إلى 89 kg/cm^2) للشد بالانعطاف أي بنسبة زيادة قدرها (14) % توافق ازدياد قيم المكافئ الرملي بين (51-95) %.

أما قيم المقاومة على الضغط البسيط فتتأثر بشكل أكبر إذ تزداد هذه القيم (من 260 إلى 341 kg/cm^2) أي بنسبة زيادة قدرها (31) % تفوق ضعفي النسبة التي كسبتها العينات في حالة الشد بالانعطاف.

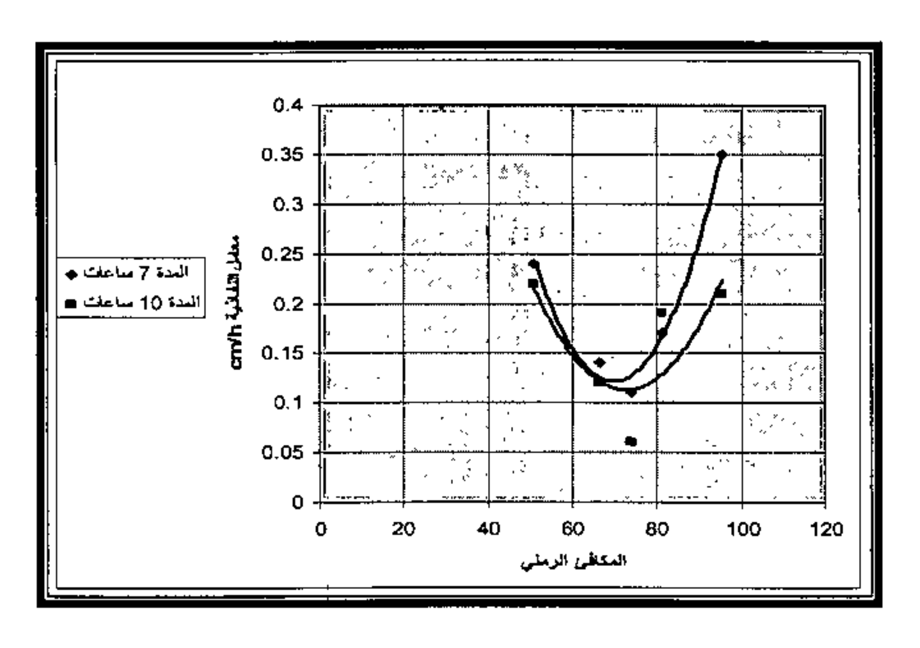
لذلك يظهر ميل المنحني الأول الخاص بالمقاومة على الشد بالانعطاف أقل نسبياً من ميل المنحني الثاني الخاص بالمقاومة على الضغط البسيط وهو ما تدل عليه قيم الثوابت التي حصلنا عليها عند اقتراح النماذج الرياضية الملائمة لقياس تطور المقاومة.

<u>2- تأثر معامل النفاذية بقيم المكافئ الرملي:</u>

يبين الشكل (4-5) تأثير قيم المكافئ الرملي في قيم معامل النفاذية لعينات المونة الإسمنتية.
يسلك المنحنيان المعروضان سلوكاً متشابهاً تنقص بموجبه قيم النفاذية لعينات المونة الإسمنتية بزيادة قيم المكافئ الرملي حتى قيمة معينة انعطفت عندها تقابل (SE=74) لتسلك سلوكاً آخر تزداد بموجبه قيمة معامل النفاذية بزيادة المكافئ الرملي يمكن تفسير ذلك منطقياً في الجزء الأول من المنحنيات قبل الانعطاف بنقصان النفاذية مع نقصان نسبة الشوائب الموجودة في الرمل حتى حد معين لها يتوافق مع القيمة (SE=74).

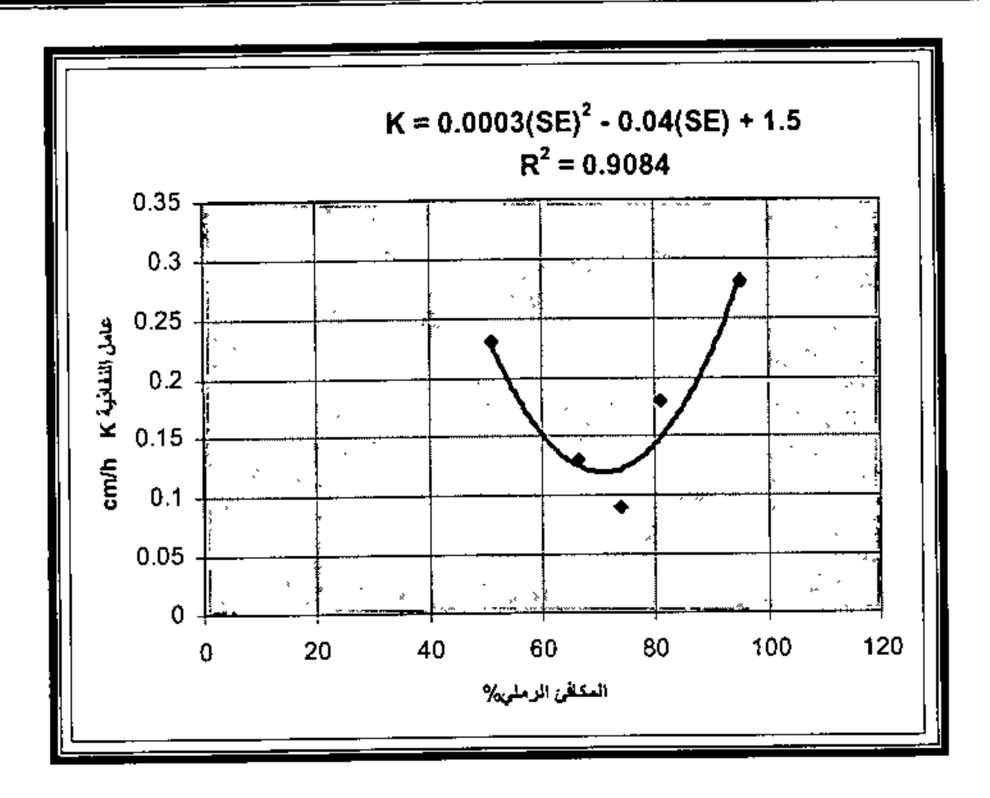
أما زيادة النفاذية بعد هذه القيمة فيعزى بنظرنا إلى فقدان الرمل الناعم للحبيبات الناعمة بعد الغسل والتي كانت تعمل قبل نقطة الانعطاف كمادة مالئة تحد من قيمة النفاذية وفقدانها بعد نقطة الانعطاف فتحت بعض المنافذ من جديد وازدادت نسبياً قيمة معامل النفاذية.

تجدر الإشارة هنا إلى أن ازدياد قيم معامل النفاذية بعد نقطة الانعطاف يقع ضمن حدود معقولة لن يؤثر معها على تغلغل المواد المخربة. وعند استخدام رمل خشن نسبياً بقيم مرتفعة للمكافئ الرملي يمكن معالجة هذه الظاهرة بإضافة مواد مالئة ناعمة سيليسية في تركيبها وخالية من الشوائب إلى حد كبير.



الشكل (4-5)

تغير قيم معامل النفاذية بدلالة قيم المكافئ الرملي



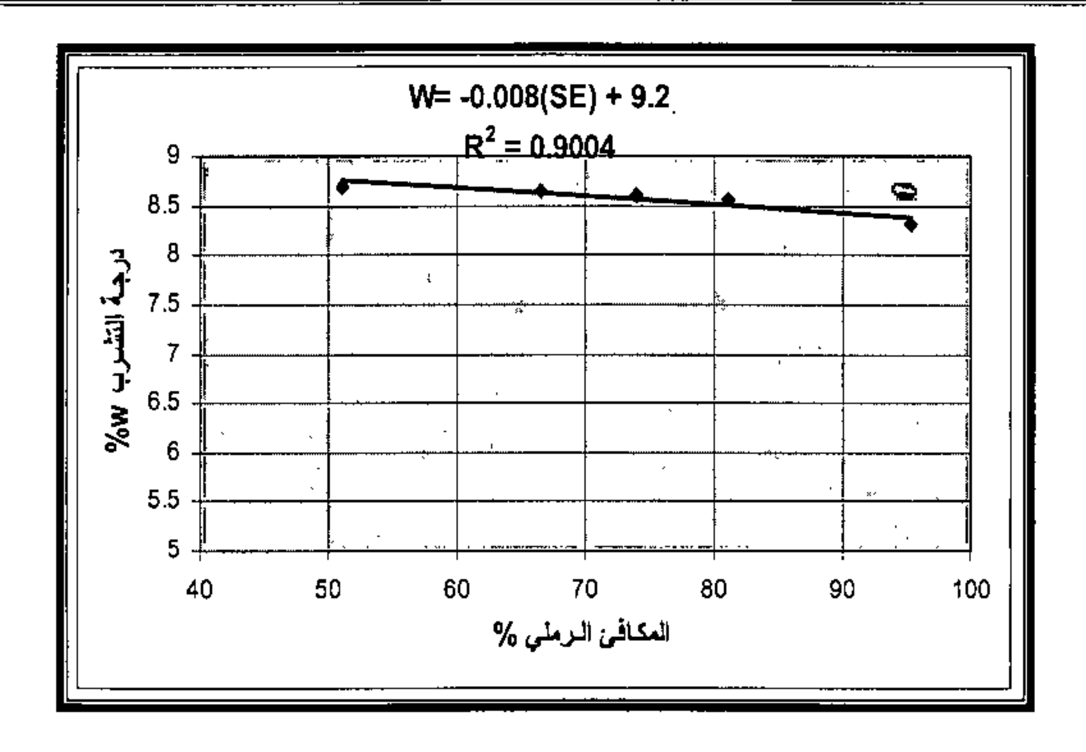
الشكل (4-6)

تغير القيمة الوسطية لمعامل النفاذية بدلالة قيم المكافئ الرملي

3- تأثر درجة التشرب الأعظمي بالماء بقيم المكافئ الرملي:

يبين المنحني (4-7) تأثر قيم درجة التشرب الأعظمي بالماء بقيم المكافئ الرملي حيث نلاحظ كما يبدو في المنحني أن درجة التشرب الأعظمي بالماء لعينات المونة الإسمنتية تتناقص بتزايد قيم المكافئ الرملي. حيث تتناقص قيم درجة التشرب (من 8.7 إلى 8.32) % مقابل زيادة في قيم المكافئ الرملي بين (50-95).

إلا أن هذا التغير في قيم درجة التشرب يعتبر تغيراً طفيفاً نسبياً.



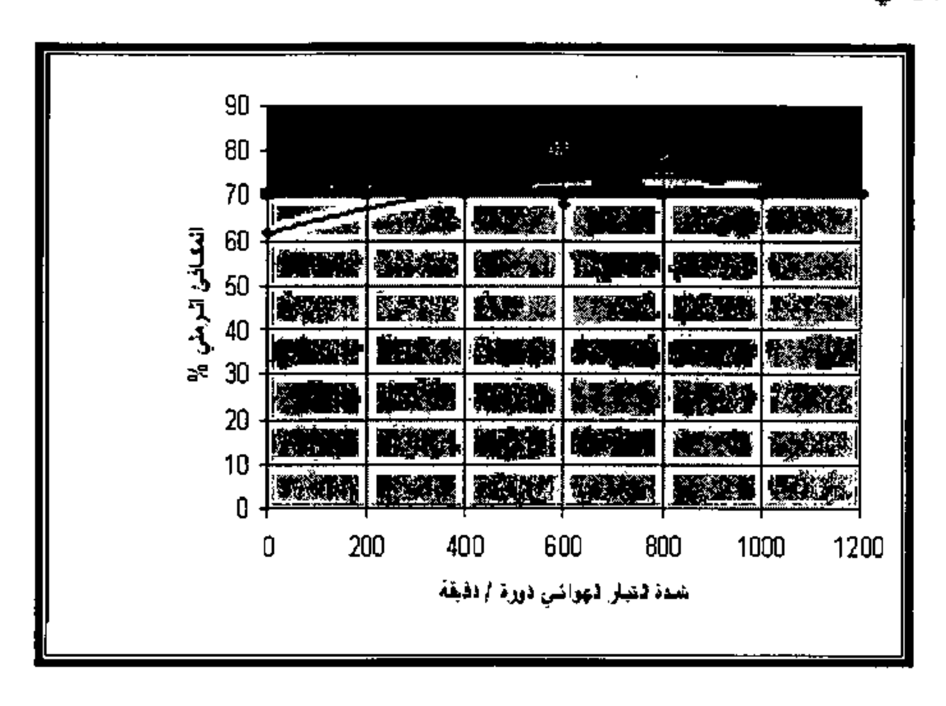
الشكل (4-7)

تغير قيم درجة التشرب بدلالة قيم المكافئ الرملي

يمكن تفسير هذه النتيجة بنظرنا بأن المواد الناعمة والشوائب الغضارية خاصة الموجودة في الرمل تقوم بامتصاص الماء والاحتفاظ به مما يرفع درجة التشرب الأعظمي بالماء، في حين تتناقص كمية هذه المواد في الرمل المغسول بالتالي تكون كمية الماء الممتصة من قبل العينات المحضرة من رمل ذي مكافئ رملي مرتفع نسبياً قليلة مما ينعكس على انخفاض في درجة تشرب هذه العينات.

4- فعالية التقنية المقترحة وحساب المردود:

يبين المنحني التالي (4-7) الذي يعبر عن تغير قيم المكافئ الرملي (وسطي قيم المكافئ الرملي في الحجرتين 1-2) بدلالة شدة التيار الهوائي أن قيم المكافئ الرملي تتغير بتغير شدة التيار الهوائي .



الشكل (4-8)

تغير قيم المكافئ الرملي(وسطي قيم المكافئ في الحجرتين1-2)

بدلالة تغير شدة التيار الهوائي

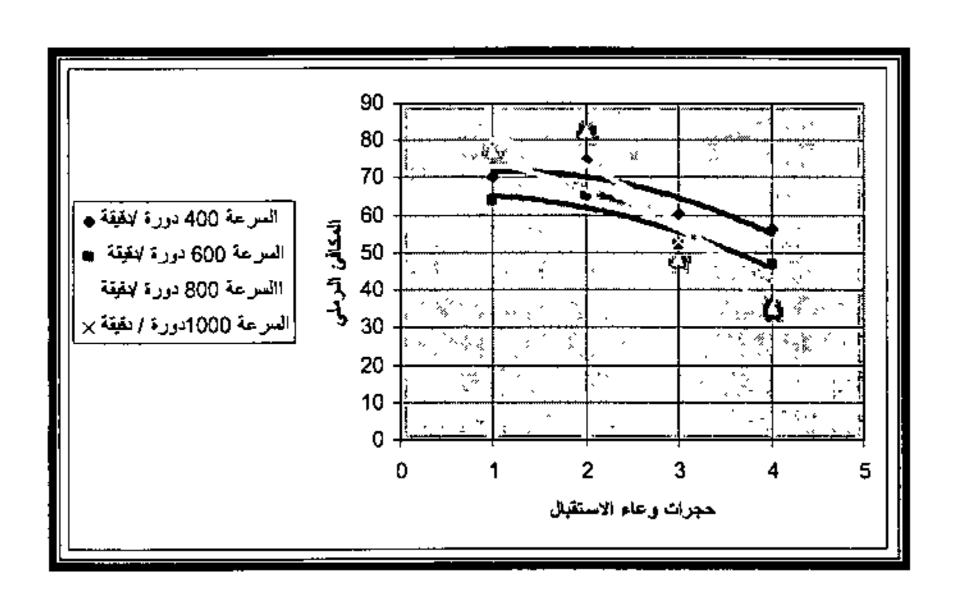
حيث يبدو من المنحني (4-8) أنه كلما زادت شدة التيار الهوائي تكون فعالية التنظيف أفضل حيث ترتفع قيم المكافئ الرملي بزيادة شدة التيار الهوائي حتى الوصول إلى قيمة معينة للشدة (800 دورة/دقيقة) تبدأ بعدها فعالية التنظيف بالانخفاض نسبياً.

الخط الأفقي في المنحني السابق يفصل بين منطقتين المنطقة العلوية(الخضراء) تمثل القيم المقبولة للمكافئ الرملي ($70 \leq SE$).

بينما تمثل المنطقة الواقعة تحت هذا(المنطقة الحمراء) الخط القيم المرفوضة للمكافئ الرملي لاستخدامه في البيتون (SE<70) حسب المواصفة السورية.

تعتبر هذه النتيجة منطقية فعندما تزداد شدة التيار الهوائي بشكل كبير يحصل خلط بين الرمل والمواد الناعمة وتكون عندها شدة التيار قادرة على إبعاد حبيبات الرمل فضلاً عن الحبيبات الناعمة.

كذلك نلاحظ من المنحني (4-9) أن قيمة المكافئ الرملي ترتفع كلما اقتربنا من المصدر الهوائي أي أن قيم المكافئ الرملي مرتفعة في الحجرتين (1-2) من حوض الاستقبال في حين تنخفض قيمه بدءاً من الحجرة الثالثة.



الشكل (4-9)

تغير قيم المكافئ الرملي بدلالة البعد عن المصدر الهوائي

وتعتبر هذه منطقية كون الغضار والمواد الناعمة أخف وزناً (وزنها النوعي 1.5) من الرمل بالتالي تبتعد عن المصدر الهوائي أكثر من ابتعاد الرمل عنه.

5-اقتراح بعض النماذج الرياضية لحساب المقاومة ومؤشرات الديمومة بدلالـــة المكافئ الرملي:

من خلال تتبع قيم الجداول والمنحنيات نقترح بعض النماذج الرياضية التي ستسمح باســـتنتاج قيم أولية للمقاومات ومؤشرات الديمومة بدلالة نظافة الرمال المستخدمة التي يعبر عنها بقـــيم المكافئ الرملي SE.

- يمكن إلباس المنحني الذي يعطي قيم المقاومات على الشد بالانعطاف بدلالة المكـــافئ الرملي بتابع لوغارتمي من الشكل:

$$R_t = a.\ln(SE)+b$$

حيث:

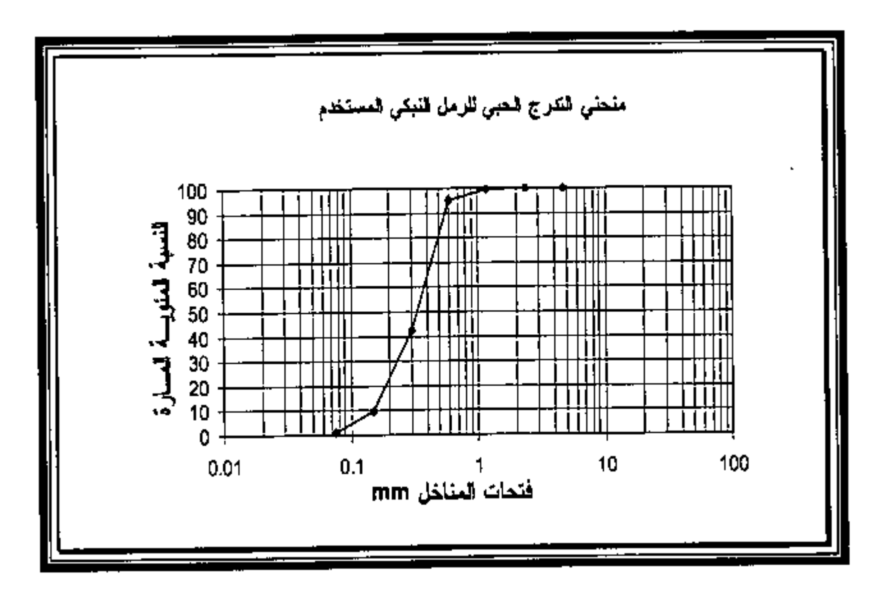
R_t: قيمة المقاومة على الشد بالانعطاف مقدرة بـــ kg/cm^2 الموافقة لقيم SE التي ستقع في المجال ($40<SE<100$).

a: ثابت له علاقة بنوع الرمل (تدرجه الحبي- معامل نعومته)

معامل النعومة كما يبدو من الجدول (4-1) أن (MF=1.53).

نتائج التحليل الحبي على الرمل النبكي المستخدم						
فتحة المنخل mm	الوزن المتبقي g	تصحيح الوزن g	الوزن المتبقي المصحح g	النسبة المتبقية %	النسبة المتبقية التكاملية %	النسبة المارة %
4,75	0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
2,36	0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1,18	6	0	6	0,5	0,5	99,5
0,6	50	0	50	4,2	4,7	95,3
0,3	625	0	625	52,7	57,4	42,6
0,15	390	0	390	32.9	90,3	9,7
0,075	102	0	102	8,6	98,9	1.1
0	13	0	13	1	100,0	0,0
المجموع	**1186**	**0,0**	**1186,0**	**100,0**		

الجدول (4-1)



الشكل (4-9)

فيما يخص الرمل المستخدم في هذا البحث تم استنتاج قيمة لـــ **a**

a=19.21 بالتدرج الحبي المعطى والذي سيقع فوق الحزمة النظامية وهو ما يدل عليه معامل النعومة المنخفض MF=1.53

$$\mathbf{a=f(MF)}$$

b: ثابت يتعلق بطبيعة الشوائب ومحتواها من المواد العضوية وهي في حالتنا (2.75) %

فبلغت قيمة **b**=2.5 لتصبح المعادلة لحالة الرمل المستخدم

$$\mathbf{R_t=19.21Ln(SE)+2.5}$$

- أما المنحني الذي يعبر عن تغير المقاومة على الضغط البسيط بدلالة قيم المكـــافئ الرملي فيمكن إلباسه بتابع خطي من الدرجة الأولى من الشكل:

$$\mathbf{R_c=a(SE)+b}$$

$\mathbf{R_c}$: قيمة المقاومة على الضغط البسيط مقدرة بـــ kg/cm^2 الموافقة لقيم SE التي ستقع في المجال $(40<SE<100)$.

a: ثابت له علاقة بنوع الرمل (تدرجه الحبي- معامل نعومته).

$$\mathbf{a}=1.83$$

b: ثابت يتعلق بطبيعة الشوائب ومحتواها من المواد العضوية

$$\mathbf{b}=159$$

بالتالي تصبح المعادلة في حالتنا:

$$\mathbf{R_c= 1.83\ (SE)+159}$$

يتقارب النموذجان المقترحان لتغير المقاومات (على الشد والضغط) بدلالة قيم المكافئ الرملي بتعريف الثوابت ودلالاتها. مع الإشارة إلى أن اعتماد التابع الخطي لقيم المقاومة على الضغط البسيط أظهر نسبة التزايد الأكبر من خلال ميل المنحني مقارنة مع هذه النسبة للتابع اللوغارتمي في حالة الشد بالانعطاف.

- وفيما يتعلق بتأثر قيم معامل النفاذية بقيم المكافئ الرملي SE ولإدراج نقطة الانعطاف التي يعاني منها المنحني (والذي كنا تحدثناعن أسبابه في الفصل السابق وقدمنا تفسيراً له) نرى من الأنسب إلباس المنحني بتابع من الدرجة الثانية يعاني انعطافاً عند النقطة الموافقة للنفاذية الأقل (SE=74) سيكون هذا المنحني بالشكل التالي:

$$\mathbf{K= a(SE)^2+b(SE)+c}$$

حيث:

K: قيمة معامل النفاذية مقدرة بـ cm/h الموافقة لقيم SE التي ستقع في المجال (40<SE<100).

a وb: ثوابت ستتعلق حتماً بالتدرج الحبي للرمل المستخدم ومعامل النعومة MF.

أما الثابت c فكما في النماذج السابقة المقترحة ستتعلق بطبيعة الشوائب الموجودة في الرمل ومدى احتوائها على المواد العضوية.

وفي حالتنا هذه لدينا:

$$a=0.0003$$

$$b=-0.04$$

$$c=1.5$$

بالتالي تصبح المعادلة كما يأتي:

$$K= 0.0003(SE)^2-0.04(SE) +1.5$$

- أما بالنسبة لتأثر درجة التشرب الأعظمي بالماء لعينات المونة الإسمنتية فنرى أنـــه من الأفضل إلباس المنحني بتابع خطي من الدرجة الأولى على الشكل

$$W=a (SE) +b$$

حيث :

W: درجة التشرب الأعظمي بالماء للمونة الإسمنتية (تعطى كنسبة مئوية) الموافقة لقيم SE التي ستقع في المجال ($40<SE<100$).

a: ثابت له علاقة بنوع الرمل (تدرجه الحبي– معامل نعومته).

$$a =-0.008$$

b: ثابت يتعلق بطبيعة الشوائب ومحتواها من المواد العضوية.

$$b =9.2$$

بالتالي تصبح العلاقة كما يأتي:

$$W = -0.008(SE) +9.2$$

الفصل الرابع

الخاتمة

مقترحات وتوصيات

الفصل الرابع

الخاتمة

مقترحات وتوصيات

1- خاتمة:

قدمت في بحثنا المعروض نتائج عملية لأنواع من الرمال الناعمة المستخدمة في الآونة الأخيرة بكثرة في سوريا والتي تدل أغلب الاختبارات التي تجرى في مخابر الجامعات لدينا أنها لا تعطي قيماً مقبولة من حيث الاحتواء على الشوائب لقبول استخدامها في البيتون .

تظهر النتائج التي عرضت في الفصل الثالث من هذا البحث أهمية الشوائب وأثرها السلبي في مقاومة وديمومة البيتون، إذ يمكن أن تؤدي إلى إنقاص المقاومات بنسب تصل إلى (30) % عندما لا تعالج الرمال بالغسل أو بأي تقنية أخرى لتخليصها من الشوائب.

من هنا وبعد تسليط الضوء على تأثير الشوائب في جودة وكفاءة البيتون أو المونة الإسمنتية كان التفكير بإيجاد تقنيات مناسبة لتخليص الرمال الناعمة بشكل خاص من الشوائب لتصبح مقبولة وذات أداء أفضل.

أظهرت تقنية التنظيف المتبعة فعالية واضحة على النموذج المصغر الذي تمت صناعته خصيصا لهذا البحث ونشير هنا إلى أن دراسات لاحقة باستخدام النموذج ذاته أو بعد إجراء بعض التعديلات عليه ستجعل الفرصة سانحة لاقتراح آلية مماثلة بالقياس الحقيقي لتخليص

الرمل بكميات كبيرة من الشوائب بضياع لن يتجاوز (15) % كما دلت النتائج عن النموذج المصغر ويكسب في قيم المكافئ الرملي قيم مرفوضة بحدود (60) % إلى قيم مقبولة SE= 80

نقدم فيما يأتي بعض المقترحات الخاصة بهذا البحث والتي نأمل أن تلقى الاهتمام اللازم عند متابعته مستقبلاً.

2-مقترحات وتوصيات:

قبل تقديم المقترحات الأولية لأرباب العمل والصناعة لطرح نموذج بالأبعاد الحقيقية للتقنية المعروضة في هذا البحث لتخليص الرمال من الشوائب نرى من الأنسب إجراء دراسة لاحقة تبين إمكانية استخدام الرذاذ المائي النقي بهدف زيادة فعالية نزع الشوائب عن حبيبات الرمل.

تركز بحثنا والعمل التجريبي المنجز على الرمال الناعمة التي يصعب تخليصها من الشوائب بالغسل ولم يتم إجراء دراسة بالتوازي على الرمال الخشنة التي من المتوقع أن تعطي نتائج تخليصها من الشوائب باستخدام التقنية المفروضة في البحث قيما مرضية لذلك ننصح بإجراء اختبارات مماثلة لتلك التي قمنا بها في بحثنا على نماذج من الرمل الخشن بمعامل نعومة MF=(1.5-3).

واستثمار هذه النتائج في حال ايجابيتها مما سيوفر الكثير مستقبلا إذ سنستغني عن المياه المستخدمة عادة في الغسل سواء في الورشات المحلية أم في المقالع التي قد تبيع الرمال بأحد الشكلين

- رمل مغسول

- رمل غير مغسول

نوصي أيضا في هذا السياق وبعد التحقق من فعالية التنقية على كميات أكبر من الرمال بدراسة إمكانية الاستفادة من الكميات التي ستحجز في الحوض في الحجرات البعيدة (3+4+5) في بحثنا والتي لن تتجاوز نسبتها الوزنية كما بينا في البحث (15) % من الوزن الإجمالي للرمل.

يمكن وبالتعاون مع قسم الكيمياء في كلية العلوم أو الاختصاصيين في كلية الزراعة إجراء تحليل مناسب لهذه البقايا واقتراح مجال استعمال لها من المتوقع أن يكون في مجال الزراعة.

مما سيكون له الأثر الإيجابي (بيئياً) أو اقتصادياً في حال إثبات إمكانية الاستفادة منها .

لمعايرة أفضل للثوابت التي تتضمنها النماذج الرياضية المقترحة نوصي بإجراء تحقق للنماذج المقترحة على عينات تتشابه فيما بينها بالنسب الوزنية لمكوناتها (إسمنت – رمل – ماء) وتختلف فقط بنعومة (MF) للرمل المستخدم . وذلك لتحديد أدق لتأثر هذه الثوابت (a) بمعامل النعومة (MF).

أما الثوابت الأخرى فنوصي بإجراء تحاليل أكثر شمولية على طبيعة الشوائب التي يحتويها الرمل في جميع العينات للوصول إلى قيم أكثر دقة للمعاملات التي نرى أنها تتعلق بطبيعة الشوائب الموجودة في الرمل.

■ **المراجع العربية:**

1-الشروط والمواصفات الفنية العامة لأعمال الطرق والجسور

2-الدليل العملي لمواد البناء- د. بسام حنا- جامعة البعث1999-.2000

3-الكود العربي السوري-دمشق.

4-المواصفة القياسية السورية للحصـويات(1985/332)-هيئـة المواصـفات والمقاييس السورية-

المراجع الفرنسية:

■ ***[5]- R. DUVAL, LA DURABILITE DES BETONS –, FRANCE – 1998 , Presses de l'école national des Ponts et chausses.***

■ ***[6]-G. DREUX et J. FESTA, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Edition Eyrolles, France 1998.***

■ ***[7]-Ali KHEIRBEK , "Influence des Paramètres de formulation sur les retraits endogène et de dessiccation***

de la pâte de ciment " Thèse de Doctorat – France – 1999 .

- *[8]- BARON, J., Ollivier, J. P. Les bétons, bases et données pour leur formulation, Eyrolles, Paris, 1999, 522.*

- *[9]- DREUX, G., FESTA J. Nouveau guide du béton et de ses constituants, Eyrolles, Paris, 1998, 409.*
- *[10]- BAROGHEL-BOUNY V. Caractérisation microstructurale et hydriques des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes performances, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 1994, 468.*

- *[11]- DE LARRARD, F. Structure granulaires et formulation des bétons, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, 2000, 414.*

المراجع الالكترونية:

12-www.finalyhydrascreens.com

13-www.buildexonline.com

14- www.astm.org

15-www.aashto.org

16-www.aci.org

الفهرس